

100  
99

**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção**

# **Modelagem computacional da equilibrção das estruturas cognitivas como proposto por Jean Piaget**

**Francisco Antonio Pereira Fialho**

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Doutor em Engenharia de Produção**



0.227.179-5

UFSC-BU

**Prof. Neri dos Santos - Orientador**

**Florianópolis, 1994**

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção**

**Francisco Antonio Pereira Fialho**

**Modelagem computacional da equilibração das  
estruturas cognitivas como proposto por Jean  
Piaget**

**Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a  
obtenção do Grau de Doutor em Engenharia de Produção.**

**Florianópolis**

**Setembro de 1994**

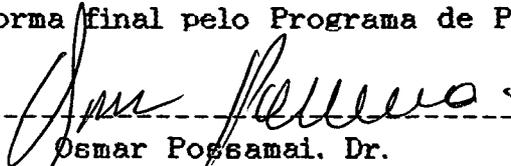
**Chi Wan thought three times before taking action.  
Confucio heard it and said: Twice might be enough.**

**(Confucio Anaclets by Ezra Pound)**

# Modelagem computacional da equilibração das estruturas cognitivas como proposto por Jean Piaget

Francisco Antonio Pereira Fialho

Esta tese foi julgada adequada para obtenção do Título de  
Doutor em Engenharia de Produção  
e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação



Osmar Possamai, Dr.  
Coordenador do Curso

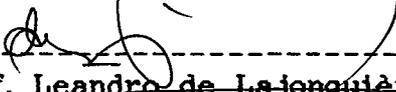
Banca Examinadora



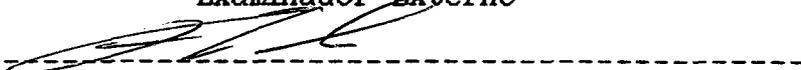
Prof. Neri dos Santos, Dr.  
Orientador



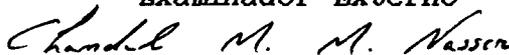
Prof. Luiz Fernando Jacintho Maia, Dr.  
Moderador



Prof. Leandro de La Jonquière, Dr.  
Examinador Externo



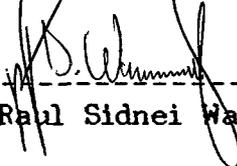
Prof. Francisco Másculo, Ph. D.  
Examinador Externo



Prof. Chandal Maria M. Nasser, Dra.



Prof. Dennis Werner, Ph.D.



Prof. Raul Sidnei Wazlawick, Dr.

## AGRADECIMENTOS:

Ao meu avô, General Antonio Lopes Pereira, engenheiro, construtor de estradas, de quem herdei o anel e o molde. Ao meu avô Chico Fialho, que me apresentou Guerra Junqueiro e que me transmitiu o gosto pela aventura por estradas sempre novas.

À minha avó, Luíza, pelo bolo de peixe e à minha avó Francisca que partiu quando eu não tinha idade ainda para retribuir seu amor. Ao meu Pai que sempre me viu mais perfeito do que jamais poderia ser e a minha mãe, que me ensinou a amar.

A querida Mirinha que me acompanhou por mais de 20 anos e que me presenteou com os maiores tesouros que possuo, meus filhos Guilherme e Gustavo.

A Monteiro Lobato, Narizinho, Pedrinho, Emilia e o Visconde de Sabugosa. A Peter Pan e todos os meninos perdidos da terra do nunca. Para Alice de Lewis-Carrol e Dorothy de Oz. Aos contos de Grimm e às Fábulas de Esopo e La Fontaine.

Aos mestres matemáticos do Colégio Militar do Rio de Janeiro que viabilizaram minha admissão na Academia de Platão e no Liceu de Aristóteles. Ao Brito e ao Charles, velhos engenheiros, que fizeram de mim um Mágico de Oz. A Da Vince e Ferdinand de Lesseps, pelas mesmas razões.

Ao professor Neri dos Santos que além de me orientar e apoiar no preparo deste trabalho me apresentou, quatro anos atrás, à Piaget. Sem o seu 'estímulo' constante a 'resposta' seria impossível.

Ao professor César Mortari, pelas discussões relativas à Filosofia e Lógica dos seres humanos. O resultado dessas conversas resultou no conteúdo deste trabalho. À professora Chandal Maria Meirelles Nasser que tinha um livro de Maturana e Varela e que me auxiliou, ao longo da elaboração dessa tese, suprimindo a minha ignorância em Biologia, no geral e em Genética e Seleção Natural em particular. Ao professor Paulo Sérgio Borges que sempre me propôs problemas insolúveis e a cujo suporte eu devo o "How to decide to decide".

À Charles Darwin pelo seu evolucionismo e à Alan M. Turing, pela coragem de sonhar. À Jean Piaget por sei lá quantos anos de aplicação do Método Clínico às crianças. Sem seu trabalho ainda estaríamos 'exorcizando' a 'psi'.

A DEUS que, entre mil opções de projeto, optou pelo Construtivismo.

# SUMÁRIO

*Resumo*

*Abstract*

*Lista das Figuras*

*Lista das Definições*

*Lista dos Procedimentos*

*Conteúdo dos Capítulos*

<b>Capítulo Primeiro - Introdução</b>	<b>01</b>
1.1 Introdução ao conceito de Eco-ergonomia	01
1.2 Trabalho físico versus trabalho mental	03
1.3 Justificativa	04
1.4 Histórico	05
1.5 Estabelecimento do problema	08
1.5.1 Subordinação do tema com outras áreas do conhecimento científico	10
1.5.2 Definições das variáveis a serem trabalhadas	11
1.5.3 Limitações do tema	11
1.6 Motivação pessoal para o tema	12
1.7 Objetivos gerais e específicos	13
1.8 Hipóteses gerais e específicas	13
<b>Capítulo Segundo - Revisão Bibliográfica - Parte I</b>	
<b>Epistemologia e Seres Vivos</b>	<b>15</b>
2.1 Epistemologia - O conhecimento do conhecimento	15
2.1.1 Real e Realidade	15
2.1.2 Histórico	16
2.1.3 O paradigma vigente	21
2.1.4 O modelo holográfico	22
2.1.5 A necessidade de um novo paradigma	23
2.1.6 O momento contemporâneo	24
2.2 A Máquina Humana de Construção dos Conhecimentos	25
2.2.1 As teses de Condillac	25
2.2.2 Buffon e La Mettrie	26
2.2.3 Os sistemas formais de Frege	27
2.2.4 As máquinas pensantes de Alan M. Turing	27
2.2.5 Bases históricas da Inteligência Artificial	32
2.3 Os paradigmas associados à inteligência artificial	33
2.3.1 Mecanicismo e computacionalismo	33
2.3.2 Logicismo (racionalismo)	35
2.3.3 Naturalismo	38
2.3.4 Inteligência Artificial Clássica e o Paradigma Normativo	39
2.3.5 Um paradigma alternativo: O construtivismo	40

2.3.6 Conclusões	41
2.4 Máquinas autopoieticas	45
2.4.1 Auto organização e complexidade	46
2.4.2 Complexidade e autopoiesis	48
2.4.3 Projetar ou não para um propósito	52
2.4.4 Implicações gnoseológicas	58
<b>Capítulo Terceiro - Revisão Bibliográfica - Parte II</b>	
<b>Teorias do Desenvolvimento</b>	62
3.1 Dimensão física	64
3.2 Dimensão afetiva - modelo psicanalítico	65
3.2.1 Mecanismos de defesa	68
3.2.2 Desenvolvimento como processo de equilibração	69
3.3 Fases do desenvolvimento afetivo	70
3.3.1 Fase oral	70
3.3.2 Fase anal	72
3.3.3 Fase fálica	74
3.3.4 Período de latência	76
3.3.5 Fase genital	76
3.4 Dimensão cognitiva - modelo piagetiano	78
3.4.1 Introdução	78
3.4.2 Histórico	79
3.4.3 Alguns conceitos fundamentais	81
3.4.4 Teoria dos períodos cognitivos	85
3.4.5 Conclusão	99
3.5 Dimensão espiritual	100
3.6 Conclusão	104
<b>Capítulo Quarto - Revisão Bibliográfica - Parte III</b>	
<b>Aquisição e representação do conhecimento</b>	106
4.1 O conhecimento	106
4.2 Representação de conhecimento	109
4.2.1 Representação por lógica matemática	110
4.2.2 Regras de produção	110
4.2.3 Redes Semânticas	112
4.2.4 Alógrafos e semiótica	113
4.2.5 Frames	120
4.2.6 Scripts	129
4.2.7 Esquemáticos e processos de pensamento seqüenciais em modelos PDP	135
4.2.8 Processamento distribuído em paralelo e o pensamento	139
4.3 A questão dos símbolos	141
<b>Capítulo Quinto - Revisão Bibliográfica - Parte IV</b>	
<b>Teorias de Aprendizagem</b>	144
5.1 Aprendizagem Humana	145

5.1.1	Aquisição de habilidade de conhecimento	146
5.1.2	Teoria dos Consertos: Uma Teoria Generativa de 'bugs' em Talentos Procedurais	148
5.1.3	Críticas à teoria dos reparos	151
5.1.4	O que deveria ter uma teoria de aprendizagem?	152
5.2	Aprendizagem de Máquina	152
5.2.1	Generalização baseada em Exemplos: Um Ponto de Vista Unificado	152
5.2.2	Aprendendo representações internas por propagação de erro	155
<b>Capítulo Sexto - Revisão Bibliográfica - Parte V</b>		
<b>Lógicas Humanas</b>		
6.1	Introdução	156
6.2	A linguagem do pensamento	156
6.3	Lógica dos predicados ou lógica de primeira ordem	158
6.3.1	A lógica formal empregada pelos seres humanos	160
6.3.2	Raciocínio extensional versus raciocínio intuitivo	165
6.4	Lógica difusa	166
6.4.1	Extensões à Lógica Difusa	170
6.4.2	Aplicações dos conjuntos difusos ao problema de categorização	173
6.4.3	Aplicações da teoria dos conjuntos difusos à tomada de decisões	176
6.4.4	Conclusões	181
6.5	Lógica Operatória	182
6.5.1	Fundamentos da Lógica Piagetiana	182
6.5.2	Estruturas da Lógica Operatória	191
6.5.3	Conclusões	209
6.6	Lógicas modais	209
6.6.1	Conclusão	212
<b>Capítulo Sétimo Ferramentas a serem empregadas na modelagem da equilibração das estruturas cognitivas - Técnicas de Caos</b>		
7.1	Teoria do Caos	213
7.1.1	Holismo e geometria	213
7.1.2	Sistemas complexos	217
7.1.3	Autômatos celulares	220
7.1.4	A criticalidade auto organizada	224
7.1.5	Redes neuronais e teoria do caos	225
7.1.6	Aplicações das técnicas de caos a sistemas complexos	228
7.2	Técnicas do Caos	232
7.2.1	Os algoritmos genéticos construtivistas	232
7.2.2	Redes neuronais	248

<b>Capítulo Oitavo - Ferramentas a serem empregadas na modelagem da equilíbrio das estruturas cognitivas - Em busca de uma arquitetura</b>	<b>273</b>
8.1 Introdução	273
8.2 Computadores para o processamento de símbolos	273
8.3 Processamento simbólico seqüencial ou distribuído	279
8.3.1 Quanto a Modularidade da Mente	279
8.3.2 Solução de problemas por humanos - Arquitetura simbólica	282
8.3.3 Processamento distribuído em paralelo - Arquitetura conexionista	284
8.4 A arquitetura do quadro negro	286
8.4.1 Especialistas	287
8.4.2 Quadro negro	287
8.5 Controle como um Domínio Semântico	287
8.5.1 Continuações	290
8.5.2 Outros níveis de continuações	296
8.5.3 Mecanismos de Co-rotinas	301
8.5.4 Mecanismos de Co-rotinas e Esquemas de Piaget	302
8.6 O mundo como um conjunto de objetos relacionados entre si	303
<b>Capítulo Nono - Os precursores</b>	<b>306</b>
9.1 O Darwinismo Neuronal de Edelman	306
9.2 O Mecanismo de Esquemas de Gary L. Drescher	311
9.2.1. Estrutura	312
9.2.2. Controle	317
9.2.3. Arquitetura	319
9.3 O "Modelo operatório para construção de conhecimento" de Raul Sidnei Wazlawick	321
9.3.1 Interface genérica com o mundo	327
9.3.2 Vetores reais	327
9.3.3 Entrada sensorial	328
9.3.4 Saída motora	328
9.3.5 Agente cognitivo	329
9.3.6 Esquemas	329
9.3.7 O meio ambiente como agente	335
<b>Capítulo Décimo - Descrição do Modelo</b>	<b>337</b>
10.1 Modelagem computacional da equilíbrio das estruturas cognitivas como proposto por Jean Piaget	337
10.2 O sistema de processamento associado ao modelo	339
10.3 Editor de Mundos	342
10.4 Subsistema de Processamento Primário	343
10.5 Modelo para o subsistema de Processamento Secundário	346
10.5.1 Arquitetura do subsistema de processamento secundário	351
10.6 Discussão quanto a construtividade do modelo	354
10.6.1 Dimensão física	354
10.6.2 Dimensão cognitiva	361
10.6.3 Dimensão afetiva	362

10.6.4 Dimensão espiritual	365
<b>Capítulo Décimo Primeiro - Aplicação do modelo à modelagem cognitiva</b>	<b>366</b>
11.1 Introdução	366
11.2 O mecanismo de equilíbrazões	368
11.2.1 Assimilação	369
11.2.2 Acomodação	372
11.2.3 Observáveis e objetivos	374
11.2.4 Necessidade de modelos não monotônicos	374
11.3 Os atores e suas características	374
11.3.1 Editor de Universos	377
11.3.2 O Agente Cognitivo	378
11.4 Abstração reflexiva e construção generalizadora	388
11.4.1 Construção de esquemas compostos pelo domínio de observação	389
11.4.2 Construção de meta-esquemas pelo domínio de auto-observação	394
11.5 Algoritmos genéticos como mecanismo de criação esquemas	394
11.6 Construtor de restrições	407
11.7 Interação do agente com o seu meio-ambiente	409
11.8 Conclusão	411
<b>Capítulo Décimo Segundo - Conclusões</b>	<b>412</b>
12.1 Algoritmos genéticos	413
12.2 Assimilação e acomodação	414
12.3 Pré e pós-processamento difuso	415
12.4 O Espaço de Restrições	415
12.5 Subsistema de Processamento Primário	415
12.6 Modelagem do agente e do seu meio-ambiente	416
12.6.1 Valores próprios e impróprios	416
12.6.2 Os tipos de equilibração	416
12.7 Fontes para Pesquisa Futura	417
12.7.1 Extensões à metáfora biológica de Piaget	417
12.7.2 Modelagem cognitiva de organizações	418
12.7.3 Sistemas de diagnóstico	418
12.7.4 Pesquisa Operacional	418
12.7.5 Sistemas de Ensino Inteligente Auxiliado por Computador	419
12.7.6 Aplicações na Engenharia de Produto	419
12.7.7 Aplicações na Engenharia de Controle de Processo	419
12.7.8 Aplicações na Psicologia da Administração	420
12.7.9 Exploração de um ambiente dinâmico para novas experiências	420
12.7.10 Simulação de teorias evolutivas	420
12.7.11 Aprofundamento do modelo	420
12.8 Considerações Finais	420
<b>Capítulo Décimo Terceiro - Referências Bibliográficas</b>	<b>422</b>

## LISTA DAS FIGURAS

Figura 2.1	Real e Realidade	15
Figura 2.2	Conhecimentos são função da história cognitiva individual	15
Figura 3.1	Evolução no tempo do ponto de equilíbrio	63
Figura 3.2	A máquina humana ao nascer	64
Figura 3.3	Relação entre o real e a estrutura freudiana da personalidade	67
Figura 3.4	Procedência e expressão dos comportamentos	69
Figura 3.5	A afetividade dirige a construção dos esquemas iniciais da criança	71
Figura 3.6	A afetividade dirige a construção dos mecanismos de defesa e controle	73
Figura 3.7	Construindo a identidade e o superego	74
Figura 3.8	Os invariantes funcionais de Piaget	82
Figura 3.9	Resumo dos estágios evolutivos de Piaget	86
Figura 3.10	Mecanismos construtores do primeiro estágio	87
Figura 3.11	Construção das primeiras heurísticas de construção O Mecanismo atuando sobre si mesmo	90
Figura 3.12	Construção das primeiras heurísticas para solução de problemas	91
Figura 3.13	A passagem dos esquemas sensório-motores aos esquemas simbólicos	93
Figura 3.14	A construção das representações	94
Figura 3.15	A passagem dos esquemas simbólicos aos esquemas conceituais concretos	95
Figura 3.16	Passagem à fase das operações formais	96
Figura 3.17	Acoplamento do 'Eu' com o meio ambiente onde se expressa	102
Figura 4.1	Fatos e representações de fatos	107
Figura 4.2	O conhecimento	110
Figura 4.3	Árvore de busca baseada em regras de produção	112
Figura 4.4	Redes semânticas I	113
Figura 4.5	Redes semânticas II	114
Figura 4.6	Traçando a imagem de um cubo	123
Figura 4.7	Exemplo de uma frame espacial global	129
Figura 4.8	40 descritores para os tipos de quarto	141
Figura 5.1	O Sistema de Produção ACT de Anderson	155
Figura 5.2	Estrutura de explicação de um copo	163
Figura 6.1	Como você prefere o seu vinho	167
Figura 6.2	Mapeamento típico de um número real em três conjuntos difusos	168
Figura 6.3	Cortes $\alpha$ difusos	173
Figura 6.4	Protótipo de maçã	176
Figura 6.5	Tomando decisões difusas I	177
Figura 6.6	Tomando decisões difusas II	178
Figura 6.7	A estrutura do reticulado	182

Figura 6.8	Classificações primitivas	183
Figura 6.9	Lógica Interproposicional (forma) e intraproposicional (conteúdo)	186
Figura 6.10	É possível se pertencer ao universo dos predicados e dos conteúdos	187
Figura 6.11	Conjunto das partes de $E = \{\text{banana, laranja, abacate}\}$	192
Figura 6.12	Tabela de tripla entrada dos oito agrupamentos	195
Figura 6.13	Agrupamentos do tipo I	198
Figura 6.14	Agrupamentos do tipo II	200
Figura 6.15	Agrupamentos do tipo IV	202
Figura 6.16	Relações de herança entre as classes do Agrupamento IV	202
Figura 6.17	Relações assimétricas do Agrupamento VII	205
Figura 6.18	Relações assimétricas e simétricas do Agrupamento VII	205
Figura 6.19	Seriação dos relacionamentos assimétricos	207
Figura 6.20	Tabela de dupla entrada do Agrupamento VIII	208
Figura 7.1	A corda do violão e o universo	214
Figura 7.2	A poeira de Cantor e o fim do universo	215
Figura 7.3	A curva de Koch	216
Figura 7.4	Cidades com mais de 1 milhão de habitantes são exemplos de sistemas complexos	218
Figura 7.5	A inteligência da máquina	219
Figura 7.6	Exemplo de autômato celular	220
Figura 7.7	Autossimilaridade	221
Figura 7.8	Haste unidimensional	221
Figura 7.9	Plano bidimensional	222
Figura 7.10	Cubo tridimensional	222
Figura 7.11	Passeando num tabuleiro de xadrez	223
Figura 7.12	A evolução parece sempre conduzir a situações críticas	225
Figura 7.13	O vidro de spins	226
Figura 7.14	Reconhecimento de padrões	227
Figura 7.15	As redes de Kohonen	228
Figura 7.16	Espaço de proteínas com 100 aminoácidos	229
Figura 7.17	A Lei da oferta e da procura parece não funcionar muito bem	231
Figura 7.18	A fábrica do futuro será projetada para ser caótica	232
Figura 7.19	Algoritmos genéticos	233
Figura 7.20	Ciclo básico dos algoritmos genéticos	235
Figura 7.21	Roleta para escolha do conjunto de pais	235
Figura 7.22	Exemplo de crossover	236
Figura 7.23	Exemplo de mutação	236
Figura 7.24	Estrutura neuronal básica	249
Figura 7.25	Neurônio artificial	250
Figura 7.26	Exemplo simples de rede neuronal	250
Figura 7.27	Rede classificadora binária	251
Figura 7.28	Exemplo de uma rede simples para predição	252
Figura 7.29	Uma rede neuronal para previsão do preço do dólar	253
Figura 7.30	Rede neuronal para aproximação de funções	254
Figura 7.31	Rede neuronal de quatro camadas sem retroalimentação	255

Figura 11.8	Tomada de decisão difusa quanto a tarefa a realizar	387
Figura 11.9	Esquemas existentes no domínio cognitivo	389
Figura 11.10	Encaixes de campos conceituais	390
Figura 11.11	Mecanismo de tratamento simbólico	391
Figura 11.12	Tabelas construídas por programas existentes no domínio de observação	392
Figura 11.13	Um sistema classificador clássico	396
Figura 11.14	Sistema classificador utilizado no modelo	400
Figura 11.15	Criação de uma loja de classificadores para atingir determinado estado desejado pela entidade	403
Figura 11.16	Efeito da reprodução de um esquema no seu campo conceptual	406
Figura 11.17	Tratamento de esquemas cognitivos e primitivos	408

## LISTA DAS DEFINIÇÕES

Definição 01	Real	15
Definição 02	Realidade	15
Definição 03	Inteligência artificial forte	33
Definição 04	Inteligência artificial fraca	33
Definição 05	Complexidade	48
Definição 06	Domínio cognitivo	58
Definição 07	Domínio linguístico	59
Definição 08	Sistema observador	60
Definição 09	Domínio de observação	60
Definição 10	Domínio de auto observação	60
Definição 11	Domínio de conduta	60
Definição 12	Processador primário (Id)	66
Definição 13	Condensação	66
Definição 14	Deslocamento	67
Definição 15	Processador secundário(ego)	67
Definição 16	Espaço de restrições (superego)	67
Definição 17 <sup>2</sup>	Agrupamento	196

---

<sup>2</sup>Wazlawick, 1993

## **LISTA DOS PROCEDIMENTOS**

Procedimento 11.1 Interação do agente com o seu meio	409
Procedimento 11.2 Acrescenta Esquemas Primitivos	410

## RESUMO:

Da forma como a expressão é geralmente utilizada, Ciências Cognitivas se referem ao estudo interdisciplinar relativo à Aquisição e ao Emprego do Conhecimento. O campo inclui, como disciplinas contribuintes: Inteligência Artificial; Psicologia Cognitiva; Linguística; Filosofia da Mente e da Linguagem; Antropologia Cognitiva, Engenharia do Conhecimento, Ergonomia Cognitiva; Neurociências e Educação.

Segundo Jean Piaget, a "afetividade" é a energética da ação: a afetividade é o motor (a força) que impulsiona a ação (o comportamento) e a inteligência é a estratégia (o modelo) desta ação (deste comportamento). A diferença entre um corpo qualquer e os seres vivos é que, no caso dos objetos, a força (energia) que os move vem de fora, ao passo que, nos seres vivos, essa força pode ser gerada pelo próprio organismo.

Jean Piaget dá tanta importância às estratégias do comportamento (inteligência), quanto à energética (afetividade) que está por trás da atividade dos seres vivos. Para ele uma não se manifesta sem a outra (*todo movimento é gerado por uma energia assumindo uma determinada forma ou modelo*). Para ele não tem importância se o comportamento é sensorio motor, verbal ou mental: "*Não há comportamento sem uma energia que o impulsiona e não há outra maneira desta energia manifestar-se senão através de comportamentos*".

Este 'fluxo energético' impulsiona a ação sempre que o equilíbrio do organismo é desfeito (desequilíbrio): O sistema de auto organização entra, então, em ação, para restabelecer o equilíbrio. O disparador da afetividade, portanto, é a sensação de desorganização interna ou inadaptação com relação ao meio.

A incapacidade de reorganizar-se é o grande fator de desregulação do fluxo de energia por manter o organismo em estado de desequilíbrio (frustração). Para Piaget o desequilíbrio manifesta-se, inicialmente, pelo(s) *interesse(s)* que vão, ao final, transformar-se em *valores, vontade, ideais*. A moral, para Piaget, é uma tabela de valores que comanda o fluxo das motivações (desejos, aspirações, tendências), vindo a operacionalizar-se, em forma de regras que já são comportamentos intelectualizados.

O presente trabalho consiste em uma tese de doutoramento na área de Engenharia do Conhecimento onde, a partir da conjectura de Turing sobre a possibilidade de construir máquinas inteligentes e dos trabalhos de Jean Piaget sobre como as crianças constroem seus conhecimentos, propõe-se um simulador capaz de emular as Estruturas Cognitivas e o Mecanismo pelos quais essas estruturas atingem um estado de equilíbrio majorante após desequilíbrios provocados por estímulos externos e internos.

## ABSTRACT:

The main concern of Cognitive Sciences is how we get and use Knowledge. Artificial Intelligence; Cognitive Psychology; Philosophy of mind and language; Cognitive Anthropology; Knowledge Engineering, Cognitive Ergonomics, Neuroscience and Education are, in accordance with this definition, related to Cognitive Sciences.

According to Jean Piaget, "emotions" are the energetic part of all action: Emotions are the motor, the strength, that causes the action. Intelligence is the strategy, the model, of this action. Inanimate objects are different from animated ones in the sense that the strength that these objects need to get in movement comes from the outside World while in animated organisms this strength is generated by the organism itself.

Jean Piaget attributes the same importance to the strategies of the behavior (Intelligence) as to the energy (emotions) that is behind the activity of living beings. One doesn't happen without the other (*all movements are generated by an energy, strength, that assumes a specific form or model*). No matter if we are talking about Sensory motor systems, verbal or mental activity: *"That's no behavior without an energy behind it and there is no other way to express this energy then behavior."*

This flow of energy causes the organism to react each time the balancing of the organism is affected. The auto organization system tries to reestablish this balancing. Emotions are the switch that fires this feeling of unbalancing or incapacity expressed by the organism in trying to adjust to the environment.

The lack of capacity to get organized is the greatest cause of the unbalancing of this flow of energy. Frustration is the feeling associated with this incapacity. Piaget thinks that the unbalancing can be observed, initially by the INTERESTS demonstrated by the organism. At the end, these interests are transformed in VALUES, WILLS, IDEALS. Moral, for Piaget, is a value's table that guides the flow of motivations (desires, aspirations, trends). These turns into formal rules that already are considered as intellectualized behavior themselves.

We are proposing here a Ph.D. thesis on Knowledge Engineering. Following Turing conjectures about the possibility of building intelligent Machines and the research done by Jean Piaget on the way children builds their Knowledge we intend to develop a simulator able to emulate the Cognitive Structures postulated by Piaget and the Mechanism used by them to find a superior equilibrium stage after a process of balancing unbalancing caused by external or internal stimulus.

## CONTEÚDO DOS CAPÍTULOS

Este trabalho está dividido em treze capítulos. No capítulo primeiro apresentamos aspectos referentes a origem da proposta, um histórico sobre os esforços que vem sendo realizados pelos diversos pesquisadores nos campos correlacionados de Aprendizagem Humana e Aprendizagem de Máquina, os objetivos gerais e específicos do trabalho, as hipóteses que servirão de base ao desenvolvimento, a forma como os resultados obtidos serão analisados e um resumo da abordagem dada para o problema que nos propomos a resolver, destacando a importância da solução do mesmo para o dia a dia das pessoas.

Nos capítulos segundo, terceiro, quarto, quinto e sexto; Revisão Bibliográfica; revisamos os conceitos básicos envolvidos na pesquisa. O problema do conhecimento; as bases históricas da Inteligência Artificial e a hipótese Construtivista são discutidas. A seguir se aprofunda, com base nos trabalhos de Maturana, Varela, Dowkins e Piaget, entre outros, as diferenças entre máquinas e seres vivos. Ao revisarmos o trabalho de Piaget privilegiamos a clareza dando nossa interpretação pessoal a diversas passagens do mestre que dividem ainda o entendimento dos estudiosos no assunto. Posteriormente se discute as diversas teorias de desenvolvimento, dentro de uma abordagem holística do ser humano, não se esquecendo nenhuma das dimensões em que se manifesta. A seguir são analisados os principais trabalhos realizados nas áreas de Aprendizagem Humana e Aprendizagem de Máquina, as diferentes espécies de lógica empregadas pelos humanos e as diversas estruturas de representação de conhecimento.

Nos capítulos sétimo e oitavo; ferramentas a serem empregadas na modelagem da equibração das estruturas cognitivas; se discute a conveniência de empregar técnicas de caos pela sua adequação ao tratamento de sistemas complexos. As arquiteturas conexionistas, em geral, e as redes neuronais de Kohonen são apresentadas, a seguir. Outra das técnicas de caos, os Algoritmos Genéticos Construtivistas, são apresentados a seguir. Esse paradigma forma a base para a construção generalizadora e a abstração reflexiva em todo o modelo proposto. Discute-se, ainda, a técnica referente à Semântica Denotacional dentro de uma percepção do cérebro como um domínio onde co-rotinas concorrem em busca de dar significado ao Real. Busca-se uma arquitetura de hardware e software capaz de efetuar os processamentos simbólicos necessários.

O capítulo nono resume os trabalhos já desenvolvidos e que serviram de base ao presente desenvolvimento. A ênfase é para aquelas pesquisas enquadradas dentro da perspectiva construtivista como os trabalhos de Piaget relativos à Epistemologia Genética; o Darwinismo Neuronal de Edelman; o Mecanismo de Esquemas de Gary L. Drescher; e o modelo operatório de Raul Sidnei Wazlawick.

No capítulo décimo; Descrição do Modelo; apresentamos a proposta de trabalho propriamente dita, detalhada sobre o ponto de vista dos requisitos técnicos que foram observados; a metodologia seguida no trabalho e o que 'ficou para fazer'.

No capítulo décimo primeiro é discutida a aplicabilidade do modelo. Demonstra-se que o mesmo parece se constituir em uma poderosa ferramenta para a modelagem dos mais diferentes tipos de entidade autopoieticas efetuando suas ontogêneses dentro dos ambientes que lhes são característicos. A construção de símbolos e, em particular, a construção de uma linguagem é discutida, ainda que superficialmente. O uso de lojas de classificadores genéticos permite não só a observação de si próprio mas representar o próprio meio-ambiente. *Paralelismo, competição, recombinação, iniciativa ou não passividade, construção generalizadora, abstração reflexiva e redundância* são os mecanismos de base do modelo. Em particular se procura demonstrar que a afetividade pode ser, também, objeto de uma construção.

No capítulo décimo segundo; conclusões; comparam-se as hipótese iniciais com os resultados obtidos listando-se as conclusões a que se pode chegar com relação às concordâncias e divergências. Apresentam-se, a seguir, sugestões para outras dissertações de mestrado e teses de doutorado, relativas ao assunto.

No capítulo décimo terceiro; Referências Bibliográficas; são apresentados os artigos e livros que foram considerados na elaboração desta tese.

# CAPÍTULO PRIMEIRO

## INTRODUÇÃO

### 1.1 Introdução ao conceito de Eco-ergonomia

Os esforços do homem em adaptar ferramentas, armas e utensílios às suas necessidades e características marcam o advento da ergonomia. Na Odisséia de Homero, Ulisses foi reconhecido por ser o único capaz de vergar o arco que fora construído especificamente para ele. É a partir da revolução industrial porém, com o surgimento da 'fábrica', que a ergonomia começará a ser estudada como ciência

A primeira fase da abordagem ergonômica centrou-se no projeto das interfaces homem-máquina que incluíam os comandos e controles, 'displays', arranjos do espaço de trabalho e o ambiente de trabalho. Este primeiro estágio foi considerado o estágio da *ergonomia física* e denominado "*tecnologia da interface homem-máquina*".

Emery e Trist, em 1960 no Instituto Tavistock de Londres, cunharam o termo "*sistema sócio-técnico*" para representar mais adequadamente a natureza complexa dos sistemas homem-máquina. O conceito de sistema sócio-técnico vê as organizações como sistemas abertos e engajados em transformar entradas em resultados desejados. As organizações são vistas como sistemas abertos porque elas tem fronteiras permeáveis ao meio externo no qual elas estão inseridas e dos quais elas dependem para sua sobrevivência.

Quando falamos em estágios e fases, devemos compreender que não estamos eliminando os que ficam para trás. Cada fase incorpora a anterior. A ergonomia física continua a ser um aspecto muito importante na abordagem ergonômica significando, ainda hoje, a aplicação de maior intensidade.

O fim da década de 60 e início dos anos 70 trouxeram para o ambiente de trabalho novos componentes como 'hardware', 'software', 'lay out de telas', 'menus', etc. A maneira como as pessoas usam e processam a informação tornou-se extremamente importante para o projeto de sistemas. Como apresentar as informações de forma que as pessoas dêem a elas o significado pretendido? A busca de uma resposta para esta pergunta fez com que as lentes ergonômicas se desviassem dos aspectos puramente físicos e perceptuais do trabalho para a modelagem cognitiva. Surge, então, o segundo estágio, da "*tecnologia da interface sistema-usuário*" ou estágio da *ergonomia cognitiva*.

Hendrick (1987), estabelece que "*technology, once employed in the design of a system, does constrain the subject of possible designs*", em outras palavras, deve-se partir, na abordagem ergonômica, com liberdade, inclusive, para se definir com total liberdade, o próprio projeto.

Hendrick (1986) afirma, ainda, que "*é inteiramente possível projetar-se ergonomicamente os componentes de um sistema, módulos e subsistemas e ainda falhar em alcançar a eficiência do sistema global*".

Essas considerações de Hendrick resultaram numa ampliação do alcance das aplicações ergonômicas e resultaram no que se denominou por terceira geração da ergonomia, a da "*tecnologia da interface organização-máquina*".

A estrutura geral da *macroergonomia* compreende quatro etapas principais, a saber: (i) levantamento inicial das necessidades da organização; (ii) projeto da estrutura organizacional apropriada; (iii) implantação do processo e (iv) medição e avaliação da eficiência organizacional para prover um "feed-back" para os usuários e projetistas.

O termo ergonomia participativa foi cunhado por Noro e Imada em 1984 e seu principal conceito é que a ergonomia existe na extensão em que as pessoas estão envolvidas na sua utilização. Nas palavras de Imada, "*a ergonomia participativa requer que os usuários finais (os que mais se beneficiam da ergonomia) estejam profundamente envolvidos no desenvolvimento e implementação da ergonomia*". Segundo Imada (1986), as bases conceituais da ergonomia participativa podem ser traçadas pelas teorias motivacionais e psicológicas. Psicólogos industriais, teóricos gerenciais e agora ergonomistas concordam que as organizações podem melhorar a produtividade, segurança, saúde, satisfação e qualidade de vida no trabalho, permitindo que vários níveis da organização participem na introdução e implementação dos princípios ergonômicos. Até agora, a introdução da ergonomia no posto de trabalho tem sido um processo unilateral. Isto é, especialistas da área de saúde e ergonomia analisam o modo como o trabalho é realizado, recomendam soluções e então dizem aos trabalhadores para implementarem essas idéias. O trabalhador só é envolvido na fase de implementação, nunca nas fases de identificação do problema e análise da solução.

Wisner (1991), traçando um paralelo entre a evolução da ergonomia e as teorias da administração, defende que o primeiro estágio da ergonomia se limitava ao interface homem máquina pressupondo, por parte do operador, uma reação conforme o esquema estímulo-resposta preconizado pela escola behaviorista, conduzindo a uma abordagem taylorista das organizações. A expressão *antropotecnologia* foi empregada por Wisner para substituir o binômio estímulo resposta por um trinômio onde o significado atribuído pelo operador aos estímulos recebidos do meio passa a ser considerado de fundamental importância numa abordagem cognitiva das organizações.

Santos e Fialho (1993), propõem que organizações, vistas como um conjunto de indivíduos, equipamentos e instalações, podem ser entendidas e tratadas como entidades psicológicas onde a produtividade do 'ser organização' e a qualidade de vida dos seres mais simples, nós humanos, que participam da sua constituição, devem se submeter, ainda, a um terceiro fator, o nível de harmonia com o meio ambiente do qual, numa visão *autopoiética*, são indissociáveis.

Empregando, na abordagem do ser complexo 'organização', as teorias de Piaget (1952), propõem que tal entidade possa evoluir dinamicamente em seu meio ambiente, a exemplo dos seres humanos, a partir de: (i) *fatores genéticos*, como os projetistas imaginaram a organização; (ii) *interações sensoriais com o ambiente externo*, desempenho concreto da organização e suas trocas com o meio ambiente; (iii) *integração social*, qual o nível de satisfação mostrado pelos diferentes membros do 'organismo' organização, qual o grau de aceitação pela comunidade e (iv) *busca por uma equilíbrio de suas estruturas cognitivas*, quão flexível é a organização a mudanças no seu meio ambiente?

A modelagem cognitiva das organizações, vistas como entidades *autopoiéticas*, permite uma análise dinâmica do desempenho dentro do meio ambiente em que se desenvolve. Esta nova proposta estende a amplitude da ergonomia. O construtivismo rende justiça à dimensão reflexiva das ciências cognitivas e conduz a uma *eco-ergonomia*.

Crítico para o sucesso e para a sobrevivência de uma organização é sua habilidade para se adaptar ao seu ambiente externo. Classicamente, consideram-se os seguintes aspectos:

- ☛ Sócio-econômico, incluindo a natureza da competição e disponibilidade de matéria-prima;
- ☛ Educacional, incluindo a disponibilidade de programas educacionais e aspirações dos trabalhadores;
- ☛ Político, incluindo as ações governamentais com relação aos negócios, trabalho e controle de preços;
- ☛ Legal;
- ☛ Cultural, incluindo o sistema de classes, valores e atitudes.

Ambientes específicos variam ao longo de duas dimensões que influenciam a eficiência de um projeto organizacional. São elas: a mudança ambiental e a complexidade ambiental. O grau de mudança refere-se a extensão com a qual o meio é dinâmico ou permanece estável ao longo do tempo. O grau de complexidade refere-se ao aspecto de quantidade de meios externos que significativamente influenciam a organização.

Essas duas dimensões, *mudança ambiental e complexidade ambiental*, em combinação, determinam a "*incerteza ambiental*" de uma organização.

## 1.2 Trabalho físico versus trabalho mental

A automação da produção tem permitido reduzir, ou mesmo eliminar, o trabalho físico e mental de caráter rotineiro (aquelas atividades geralmente perigosas, repetitivas, pouco qualificadas; que exigem um grande gasto de energia). Ferramentas; máquinas automatizadas; sistemas de controle automático de produção e robôs tomam, pouco a pouco, o lugar do homem na execução desses serviços.

O estado da arte relativo a organização industrial contempla, por um lado, o privilégio das atividades mentais sobre as atividades físicas, normalmente automatizadas ou em vias de automação e, por outro lado, o desenvolvimento de máquinas que suportem processos complexos de tomada de decisão ou mesmo de substituição parcial de humanos em atividades que, ainda que complexas, enquadradas no que denominamos de atividades mentais, requerem uma confiabilidade não obtível face às mudanças de humor; a variabilidade do comportamento humano.

Em sistemas homem-máquina complexos, cada vez menos o homem manipula diretamente o objeto de trabalho, sendo isto realizado através de interfaces, onde as informações a serem tratadas são codificadas, exigindo do operador humano mais habilidades cognitivas de decodificação, resolução de problemas e diagnóstico. O treinamento, tradicionalmente, busca atender as exigências das chamadas tecnologias convencionais, onde o aspecto mais importante é o desenvolvimento da habilidade (de coordenação) motora, sendo dada pouca ênfase ao desenvolvimento do raciocínio.

O construtivismo de Piaget parece ser o arcabouço teórico ideal sobre o qual Teorias de Aprendizagem, quer seja de humanos quer seja de máquinas (Machine Learning) possam ser elaboradas.

Cabe investir nas máquinas do futuro que, lado a lado com os humanos, dividirão o encargo de construir um mundo melhor. Trabalho físico e trabalho mental serão compartilhados por homens e máquinas dentro de vetores onde considerações mais humanísticas se somarão às questões relativas à confiabilidade, produtividade e segurança.

### 1.3 Justificativa

O tema da pesquisa que estamos apresentando se enquadra na temática mais geral de *aprendizagem de máquina* o que a subordina à área de *Engenharia do conhecimento* a qual tem, como objetivo final, aplicar técnicas de disciplinas correlatas como a Inteligência Artificial, Automação e outras aos Sistemas de Produção.

O problema específico a ser trabalhado consiste em elaborar, a partir de um *modelo computacional para as estruturas cognitivas como propostas por Jean Piaget*, uma arquitetura de *hardware* e *software* capaz de representar entidades *autopoiéticas*, simulando os processos de equilíbrio das mesmas diante de estímulos externos e internos.

A relevância social e econômica do trabalho que nos propomos realizar está:

- a) Na possibilidade de se modelar uma organização como uma entidade autopoiética constituída por homens, edificações, máquinas, estruturas organizacionais, etc. convivendo em um meio ambiente competitivo e em contínua mudança.
- b) Pela possibilidade de se testar hipóteses e efetuar predições sobre a resposta dada pelo sistema organização a mudanças operacionais, motivacionais, táticas ou estratégicas.

- c) Pela flexibilidade que se pode dotar uma organização, desde a fase de projeto, de enfrentar as mudanças que ocorrem no meio ambiente.
- d) Pela possibilidade de se verificar, através do simulador proposto, as teorias psicológicas relativas à compreensão do ser humano.
- e) Pela possibilidade de se editar mundos virtuais, que podem ser desde ambientes de fábrica até situações específicas e predizer o desenvolvimento cognitivo em tais ambientes.
- f) Na construção de sistemas especialistas com capacidade de ir além do diagnóstico (no sentido construtivista).
- g) Na ergonomia cognitiva; pela compreensão da forma de raciocinar dos seres humanos, *adaptar o trabalho ao homem e não o homem ao trabalho*, e dos limites passíveis de serem obtidos por máquinas construtivistas.
- h) Nos benefícios relativos a formação de recursos humanos pela melhor compreensão da forma com que nós, humanos, construímos nossos conhecimentos

O trabalho que se está desenvolvendo é o de uma ferramenta de simulação. Dada a complexidade do que se pretende simular, nada menos do que o próprio ser humano, o que se pretende aqui é contribuir modestamente para um avanço nesse esforço, seguindo os trabalhos já realizados nessa direção por Drescher (1991), Edelman (1990) e Wazlawick (1993). Esta ferramenta, ainda que necessitando de maiores desenvolvimentos, é uma condição *'sine qua non'* para a implementação de uma abordagem eco-ergonômica das organizações.

#### 1.4 Histórico

O movimento cognitivista começa, na década de 50, com a conjectura de Alan Turing quanto à possibilidade de se construir máquinas inteligentes. Desde então, aplicações da tecnologia de computadores invadiram, praticamente, todos os campos do 'que fazer' humano. Na indústria e no escritório moderno a automação vem substituindo o trabalho braçal e repetitivo. Câmeras de vídeo acopladas a redes neuronais implementadas em computador são capazes de classificar os produtos em diversas categorias de qualidade segundo um treinamento previamente efetuado.

Em controle de processos todas as 'etapas' do mesmo estão sendo, gradativamente, automatizadas deixando-se ao humano o papel de 'tomador de decisões', servindo o computador, ainda aqui, como um auxiliar indispensável. Sistemas Especialistas de apoio à decisão capturam o conhecimento de um especialista em condições ótimas físicas, cognitivas e psicológicas passando a assessorá-lo, em tempo real, informando-o quando este pretende agir de uma forma diferente da que usualmente faria.

Na educação tais aplicações vem sendo desenvolvidas desde o início dos anos 60, incluindo catálogo de cursos, apoio no gerenciamento do ensino e testes de graduação.

A aplicação predominante nesta área, porém, tem sido o uso do computador como um dispositivo que interage diretamente com o estudante servindo, portanto, mais do que como um mero assistente para o professor. Devido a isto, existem três abordagens gerais:

A primeira abordagem, denominada *ambiental*, é exemplificada pelo Laboratório *Logo* de Seymour Papert (1980), a qual levou o estudante ao uso da máquina dentro de um estilo mais ou menos livre. Neste caso, o estudante é envolvido com programação. A segunda abordagem, usa *jogos e simulações*, como ferramentas de instrução, por exemplo, fazendo experimentos genéticos simulados, no qual a aprendizagem é um efeito esperado. *A modelagem dos processos cognitivos consiste em se passar de uma descrição de processo para uma expressão em uma linguagem formal a qual permita efetuar cálculos e simulações* (Richard, 1990). A análise cognitiva exige que a descrição do processo seja feita em um nível adequado de refinamento e precisão. Esta exigência só é satisfeita para um número muito limitado de situações da vida real. A terceira aplicação de computadores na educação é a *Instrução ou Ensino Assistido por Computador (CAI)*. Diferente das duas primeiras abordagens, os sistemas CAI acrescentam um esforço explicativo, procurando instigar e controlar a aprendizagem. Os primeiros programas CAI desenvolvidos abrangiam uma das metodologias expostas nos parágrafos anteriores.

Para que tenhamos sistemas realmente construtivistas, é necessário incorporar teorias de aprendizagem como a de Piaget, para que a modelagem das atividades cognitivas, quer sejam de agentes humanos, estudantes, operários, controladores de processos, etc., quer de agentes mecânicos, reconheçam a importância e maximizem a eficiência no processo de aquisição e representação do conhecimento.

Através da inteligência artificial foram desenvolvidos formalismos para solução dos problemas. *Formalismos, ferramentas e programas* são as três áreas de desenvolvimento em inteligência artificial. O casamento da psicologia cognitiva com a inteligência artificial permitiu que diversos desses formalismos relativos à representação do conhecimento e aos mecanismos inerentes ao processo relativo à aquisição desses conhecimentos fossem utilizados como modelo teórico para a Psicologia, tais como:

☞ **Análise Meios-Fins (Newell & Simon, 1963)**

Método de solução de problemas onde se estabelecem sub-metas e se usam operadores que reduzem a diferença entre o estado corrente e a meta pretendida.

☞ **Redes de Discriminação (Feigenbaum, 1963)**

Representa-se o conhecimento numa estrutura em árvore, de forma que cada ramo discrimina um conjunto de objetos de outro, com base em algum atributo. Qualquer objeto, pelos seus atributos, pode ser identificado como um nó da rede.

☞ **Redes Semânticas (Quillian, 1968)**

Representa-se o conhecimento associando-se a cada conceito, um conjunto de propriedades que apontam, por sua vez, para outros conceitos. As propriedades são definidas por pares atributo-valor (um cardeal pode ser representado como: super-conjunto = pássaro, cor = branco e vermelho, local = sul do Brasil).

- ☞ **Busca por intersecção ou passagem do marcador (Quillian - 1968)**  
É um formalismo para se encontrar, dentro de uma Rede Semântica, conexões entre conceitos.
- ☞ **Sistemas de Produção (Newell & Simon, 1972)**  
O conhecimento é representado por regras de produção (Se tem pescoço comprido e bolinhas marrons infira que é uma girafa). É, portanto, além de uma forma de representação de conhecimento, um formalismo de processamento.
- ☞ **Primitivas Semânticas (Schank, 1972; Norman & Rumelhart, 1975)**  
Envolve a noção de representação de diferentes ações ou verbos em termos de um pequeno número de atos primitivos.
- ☞ **Satisfação de Restrições (Fikes, 1970; Waltz, 1975)**  
É uma técnica utilizada para solução de problemas e reconhecimento de cenários.
- ☞ **Frames e Scripts (Minsky, 1975; Schank & Abelson, 1977)**  
É uma extensão das Redes Semânticas de Quillian, onde conceitos complexos como "indo a um restaurante" são representados por frames e scripts (ocupar uma mesa, pedir o almoço) com algum valor default (escolher a partir de um menu, etc.). Como se um conceito pudesse ser quebrado em unidades estruturadas e cada unidade tivesse 'terminais' os quais poderiam apresentar uma determinada gama de valores.
- ☞ **Análise Qualitativa Incremental (de Kleer, 1979)**  
É um meio para descrever o que acontece em um sistema quando uma mudança é introduzida.
- ☞ Etc.

Sob o título polêmico de "aprendizagem de máquina", esforços vêm sendo efetuados no sentido de se testar hipóteses relativas à "aprendizagem humana" em ambientes virtuais que simulam educador, educando e o meio ambiente onde interagem.

Começaram a surgir trabalhos dentro do que se está chamando de Inteligência Artificial Construtivista dos quais, citamos, dentre outros:

- a) A Tese de Doutorado de Gary L. Drescher no M.I.T., de 1985, sob a orientação de Seymour Papert, "The Schema Mechanism: A conception of Constructivist Intelligence", que originou o livro "Made-Up Minds; A Constructivist Approach to Artificial Intelligence", publicado em 1991.

- b) O trabalho de Gerald Edelman, Prêmio Nobel, que extrapola o construtivismo Piagetiano dentro do que denomina de "Darwinismo Neuronal". A "Modelagem Neuronal Sintética" é uma abordagem teórica, em múltiplos níveis ao problema relativo à compreensão das bases neuronais do comportamento adaptativo (1987). Através de simulações em computador, do sistema nervoso, do fenótipo e do ambiente de um organismo particular, estuda-se interações nestes níveis.
- c) A Tese de Doutorado, na Universidade Federal de Santa Catarina, no Departamento de Engenharia de Produção, intitulado "A Lógica Operatória de Piaget" por Wazlawick (1993) que pelo caráter interdisciplinar inerente a esse tipo de pesquisa teve psicólogos, filósofos, lógicos e engenheiros como componentes da banca examinadora.

Outros trabalhos dentro dessa linha de pesquisa serão objeto de futuras dissertações de mestrado e teses de doutorado dentro da Universidade Federal de Santa Catarina buscando-se a aplicação de tais 'simuladores' à abordagem eco-ergonômica das organizações.

### 1.5 Estabelecimento do Problema

Uma teoria da computação especifica 'o que' deve ser computado e 'porque'. Tais teorias justificam a posição de que, dado um problema, o mesmo, assim como os requisitos para sua solução, devam ser analisados. O objetivo da computação é especificado, assim como a natureza da entrada e as restrições sobre as soluções. Uma teoria de algoritmo detalha os passos específicos realmente empregados para se realizar uma computação, dá os detalhes de 'como' a computação deve ser realizada e não o que 'é' a computação. Modelos computacionais podem ser feitos orientados para um processo. Tanto o pensamento como a aprendizagem e a percepção são processos. Modelos computacionais podem ser construídos dependentes de um conteúdo como é o caso em Representação do Conhecimento podendo, além disso, serem orientados por Objetivos. Por tudo isso modelos computacionais parecem ser mais adequados que modelos matemáticos para servirem de linguagem para uma modelagem psicológica.

As diversas Teorias da Administração, ao serem experimentadas, atestam a necessidade de conhecer melhor o 'ser humano'. Teses funcionam 'durante algum tempo'. Quando certas necessidades são satisfeitas, a produtividade aumenta, para logo cair pelo fato de 'novas e insuspeitas' necessidades virem a substituir as anteriores. Este é o problema para cuja solução nos propomos dar uma contribuição. Nossa proposta consiste na simulação, em computador, de uma entidade *autopoiética* (Maturana, 1972), em todas as dimensões em que a mesma pode se manifestar: afetiva, cognitiva, etc.

A busca pelo auto-conhecimento, com a inclusão de abstrações como consciência, mente, inteligência e outros tabus dentro do paradigma científico fazem do cognitivismo uma poderosa arma para compreensão do homem, unidade cognitiva básica, e dos sistemas por ele criados. O homem passa a ser componente integrante e fundamental de equações, vetores, sistemas de produção, etc.

Quanto ao aspecto cognitivo entendemos que o mesmo não pode ser dissociado da afetividade. Segundo Jean Piaget, a "afetividade" é a energética da ação: a afetividade é o motor (a força) que impulsiona a ação (o comportamento) e a inteligência é a estratégia (o modelo) desta ação (deste comportamento). A diferença entre um corpo qualquer e os seres vivos é que, no caso dos objetos, a força (energia) que os move vem de fora, ao passo que, nos seres vivos, essa força pode ser gerada pelo próprio organismo.

O processo de tratamento de conhecimento em computadores pode ser estudado a partir de três pontos de vista fundamentais:

- a) Representação de Conhecimento
- b) Aquisição de Conhecimento
- c) Controle dos processos (a) e (b)

Por representação entende-se um conjunto de convenções sintáticas e semânticas que tornem possível a descrição desse conhecimento. O processo de aquisição é responsável pela extração das informações originadas do mundo real. Uma teoria de controle dos processos de aquisição e representação é necessária para que o agente seja capaz de organizar adequadamente o conhecimento adquirido e representado.

A *equilibração das estruturas cognitivas* como proposto por Piaget pode fornecer excelentes modelos para uma teoria efetiva de controle da aquisição e representação de conhecimento (Hipótese Básica). Nela a afetividade é um mecanismo inerente ao modelo, a força que impele um organismo em determinada direção. Diversas teorias de afeto podem ser simuladas dentro da modelagem computacional sendo que um dos benefícios colaterais da modelagem é a própria possibilidade de se testar a capacidade dessas teorias de se explicar o comportamento.

A escolha do trabalho de Piaget como base para a modelagem se prende aos seguintes aspectos:

- ☛ Em primeiro lugar, esta é uma teoria de controle psicologicamente baseada, fruto de décadas de estudo da Epistemologia Genética, ciência criada por Piaget, que procura explicar o desenvolvimento do conhecimento e do raciocínio humano;
- ☛ Há uma estreita semelhança entre a equilibração dos sistemas cognitivos e os processos de equilibração em redes neuronais, construções empregando algoritmos genéticos, inferências, deduções e analogias em sistemas especialistas, etc. utilizados em Inteligência Artificial, Engenharia Genética, etc.
- ☛ A metáfora biológica relativa à teoria piagetiana torna-a mais integrativa. Não se trata aqui de se aceitar ou rejeitar teorias como ocorre no campo das ciências humanas. Nada impede que se integre ao modelo as teorias de aprendizagem e de afeto de Vigotsky, Wallon, Freud, Jung, Reich, Berne, etc.

Esse aspecto 'integrativo' da teoria a torna ideal para a 'construção' gradativa de um conhecimento, processo bem familiar a engenheiros e outros pesquisadores dentro do campo das ciências 'ditas' exatas. Mais do que isso, fornece uma plataforma que permite validar teorias, realizar previsões, etc, propiciando um domínio onde se pode estabelecer a discussão entre teoria e prática.

### 1.5.1 Subordinação do tema com outras áreas do conhecimento científico

A presente pesquisa envolveu, diretamente, as seguintes áreas de conhecimento: Engenharia do conhecimento; inteligência artificial; construtivismo; construtivismo piagetiano e estruturas cognitivas de Piaget; aplicações de teoria do caos como algoritmos genéticos (machine learning) e redes neuronais construtivistas; semântica denotacional; sistemas de arquitetura em paralelo; sistemas especialistas; lógicas modais; teorias psicológicas diversas; lógica difusa; etc.

#### ☛ *Engenharia do Conhecimento e Inteligência Artificial*

A Engenharia do Conhecimento busca, através do estudo da forma como especialistas realizam o seu trabalho, aplicar esse conhecimento, sob a forma de automação. Dessa disciplina empregaremos as técnicas de obtenção e representação de conhecimentos. As principais aplicações da AI (Artificial Intelligence) se concentram, hoje, nas áreas de Segurança, Produtividade, Modelagem de Teorias Psicológicas, etc.

#### ☛ *Construtivismo*

Se quisermos realmente capturar toda a riqueza comportamental exibida pelos seres humanos (trabalhadores operando em organizações para fins específicos), teremos que apelar para uma modelagem construtivista. O objeto fundamental do Construtivismo é dado, em teoria, pela definição de 'autopoiese': *Uma entidade composta pelas relações dinâmicas entre seus componentes tal que, de uma parte, a (re-)produção dos componentes é assegurada e que, de outra parte, essas relações entre os componentes são, elas mesmas (re-)construídas* (Maturana, 1972). Essa é a ótica pela qual vemos as organizações e os membros que as compõem. O trabalho de Piaget é o fundamento das pesquisas empíricas modernas sobre a gênese da inteligência nos indivíduos.

O Construtivismo de Piaget entende como manifestações de alguma 'coisa' externa (uma 'coisa' que existe mesmo quando não a percebemos) noções como a de 'objeto' ou de que 'sensações visuais e derivadas do tato estejam relacionadas'. Esta 'coisa' não é herdada mas abstraída das relações da criança com o mundo exterior. De forma semelhante, as noções de lógica, classificação, números, do que sejam as pessoas, do que somos nós, etc. seriam todas, gradualmente, construídas.

### ☛ *Técnicas de Caos*

Ao abordarmos sistemas complexos, não lineares e variantes no tempo, usaremos diversas técnicas de caos como algoritmos genéticos e diferentes tipos de redes neuronais.

☛ *etc.*

### 1.5.2 Definições das variáveis a serem trabalhadas

É possível se construir um software com base na modelagem de Piaget que, através da utilização de sistema híbridos: sistemas especialistas, redes neuronais, algoritmos genéticos, etc., exibam o construtivismo?

*A principal variável é a inteligência. Se se pretende construir uma máquina inteligente, primeiro temos que determinar os critérios capazes de definir as propriedades que tal máquina deveria apresentar para que pudéssemos dizer se teríamos ou não alcançado o nosso objetivo.*

***"Pode-se medir a inteligência pelo 'grau de construtivismo' exibido; ou seja; pela capacidade de (re-)produção dos componentes e pela capacidade com que as relações entre os componentes sejam, elas mesmas, (re-)construídas".***

A idéia é, através da simulação das hipóteses piagetianas, reproduzir seus experimentos concernentes à equilibração das estruturas cognitivas, a exemplo de Drescher (1991) no que se refere ao estágio sensorio motor do desenvolvimento da criança estendendo o modelo seguindo os passos de Wazlawick (1993), acrescentando-se, ao mesmo, outras dimensões.

### 1.5.3 Limitações do tema

Uma premissa básica da pesquisa se refere a validade das estatísticas obtidas diretamente ou citadas por Piaget e seus colaboradores. A grande limitação do tema está na aquisição do conhecimento, que é o "gargalo" dos sistemas especialistas. A aquisição do conhecimento pode ser vista sob dois aspectos:

O primeiro, analítico, consiste em obter do meio informações e alimentar um banco de conhecimentos com as mesmas.

Para isso, utilizam-se várias técnicas como: entrevistas; "brainwitting"; análise de protocolo e observação direta as quais apresentam vantagens e desvantagens. O principal problema destes métodos está no próprio ser humano na sua variabilidade inter e intra individuais.

O segundo, construtivista, que adotaremos, consiste em prover a máquina de mecanismos de interação com o meio e permitir que a mesma, através da experimentação, vá 'construindo' esse banco de conhecimentos.

Dada a quantidade de abordagens relativas ao assunto, e de forma a atingirmos nosso objetivo, centraremos os trabalhos na modelagem piagetiana, aproveitando, onde possível, as propostas de outros pesquisadores como Marvin Minsky, Papert, Edelman, Maturana e Varela, Dawkins, Dresher, Wazlawick, Simon e Rumelhart, entre outros citados nas referências bibliográficas.

Uma contribuição que julgamos importante será a de *propor e modelar teorias de afeto associadas ao processo de equilíbrio das estruturas cognitivas*, necessidade essa antecipada por Piaget e seus seguidores para justificar os mecanismos de regulação das atividades.

Não basta dotar o computador com mecanismos de coleta de dados do meio ambiente. É preciso desenvolver técnicas capazes de manipular esses dados, particularizando pela dedução ou generalizando pela indução e, ainda, estabelecendo hipóteses que façam com que a máquina, de agente passiva, captadora de dados, passe a se comportar como buscadora de informações do meio. *A fome cognitiva* que, segundo Piaget, estimula o organismo a buscar no meio resposta para suas inquietações, é o agente que lança o ser no mundo, em busca de respostas para suas perplexidades.

### 1.6 Motivação pessoal para o tema

Desde as suas origens que o homem tem investido em pesquisas que tragam, como contribuição, uma melhor compreensão de si mesmo. Muito já foi feito dentro dessa área mas o assunto continua a ser uma floresta enevoada onde os ramos e trilhas já traçados só aguçam o mistério ampliando e não diminuindo as possibilidades de se caminhar um metro adiante.

Pode-se dizer que o movimento cognitivista começou com a proposta de Alan Turing, ousada para a época, de se construir máquinas pensantes. A Idéia de Turing era a de produzir uma máquina similar à mente da criança no instante de seu nascimento e submetê-la a uma 'educação'. As Máquinas de Turing suscitaram e suscitarão milhares de 'artigos' até que elas mesmas comecem a escrever sua história.

Os Sistemas Construtivistas têm sido empregados, com sucesso, em problemas referentes a otimização em geral: projetos de gasodutos, turbinas de avião; em problemas relativos a suporte ao usuário: negociação, planejamento; etc.

Nosso interesse no assunto advém de uma experiência de onze anos em projeto e implementação de sistemas de controle de processos onde se busca otimizar a interação homem-máquina. A tendência de pesquisa atual, dentro dessa área, se situa no desenvolvimento de "Sistemas computacionais para suporte à tomada de decisão", as quais ainda são executadas por humanos.

O estado da arte no desenvolvimento de sistemas artificiais inteligentes esbarra na dificuldade de se desenvolver sistemas construtivistas. Apesar disso, atestando a relevância do tema, muito se tem publicado sob o título de "Aprendizagem de Máquina".

### 1.7 Objetivos Geral e Específicos

Nosso objetivo geral é o de desenvolver uma "*Modelagem computacional da equilibração das estruturas cognitivas como proposto por Piaget*", para tanto deveremos atingir os seguintes objetivos específicos:

- ☛ Completar a Teoria Piagetiana com propostas pessoais.
- ☛ Modelar matematicamente a Teoria.
- ☛ Incorporar uma Teoria do Afeto aos modelos computacionais existentes.
- ☛ Estabelecer os testes pelo qual se avaliará o valor da teoria.
- ☛ Realizar os testes e formular comentários que conduzam a um aperfeiçoamento do modelo.

### 1.8 Hipóteses Gerais e Específicas

Qualquer projeto dentro da área cognitiva deve contemplar:

- ☛ Uma Hipótese (Filosofia)  
*Que explique o conhecimento.*  
A Teoria do Conhecimento que adotamos é o Construtivismo de Jean Piaget.
- ☛ Uma Base Neurofisiológica  
*Como os conceitos são estruturados na mente humana?*  
A um nível lógico, os esquemas sensório-motores, os agrupamentos e grupos descritos por Piaget, após construídos, passam, de fato, a existir dentro do cérebro humano e se constituem no que denominamos de Estruturas Cognitivas. Os neurotransmissores, atuando entre as sinapses, prometem responder a muitas das indagações a respeito da contraparte física das dimensões mentais e psicológicas do ser humano.
- ☛ Uma Teoria Genética  
*Como tais conceitos se desenvolveram?*  
A seleção natural; as conceituações de Maturana e Varela a respeito do conceito de *autopolésis*; uma extensão da Lógica Piagetiana à Antropologia permite calcar as teorias evolucionistas sob uma base construtivista.
- ☛ Um Sistema de Produção  
*Como os conceitos são empregados nos processos relativos à compreensão e ao comportamento?*

O Mecanismo de Equilibração Piagetiano promete ser capaz de fornecer as regras de produção segundo as quais os símbolos são construídos, a partir da experiência dos sentidos. Essas estruturas são os esquemas, agrupamentos e reticulados piagetianos.

- Ferramentas que permitam simulação e testes dos modelos.

*Como programar um computador de forma que ele possa entender e interagir com o mundo externo?*

É possível construir máquinas pensantes baseadas no modelo de Turing. Algoritmos de aprendizagem de máquina atingiram um grau de evolução onde é permitido se pensar em construir os primeiros bebês mecânicos sonhados por Turing. É possível se criar modelos computacionais que simulem as estruturas, seus mecanismos genéticos de equilíbrio e os processos empregados para esta equilíbrio.

Técnicas de não linearidade como a Teoria do Caos parecem extremamente apropriadas para o trato de sistemas complexos. Sistemas Híbridos que misturem Redes Neurais com treinamento supervisionado, não supervisionado, como as de Kohonen ou de aprendizagem reforçada; Sistemas Especialistas que incorporem algoritmos construtivistas como os algoritmos genéticos; Lógicas modais que traduzam as crenças dos indivíduos, dentro dos diferentes domínios propostos por Maturana e Varela; Lógicas difusas que simulem o comportamento imprevisível do ser humano e outros, podem ser os mecanismos capazes de permitir tais simulações. Os trabalhos e os exemplos citados mostram que:

- É possível obter modelos cada vez melhores dessas entidades autopoieticas.
  - Esses modelos são úteis na Engenharia de Produtos (exemplo do projeto de turbinas); na Engenharia de Controle de Processo (exemplo do gasoduto); na Pesquisa Operacional (técnicas de trabalhar com múltiplas restrições na busca de soluções); na Psicologia da Administração (melhor conhecimento dos processos humanos); etc.
- ⤵ Aprendizagem Humana e Aprendizagem de Máquina compartilham uma base teórica comum relativa ao conhecimento. Avanços em qualquer das áreas representam benefícios mútuos.

## CAPÍTULO SEGUNDO

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - PARTE I

### EPISTEMOLOGIA E SERES VIVOS

#### 2.1 Epistemologia - O Conhecimento do Conhecimento

*A filosofia é a tomada de posição raciocinada em relação à totalidade do real.*  
(Piaget, 1970)

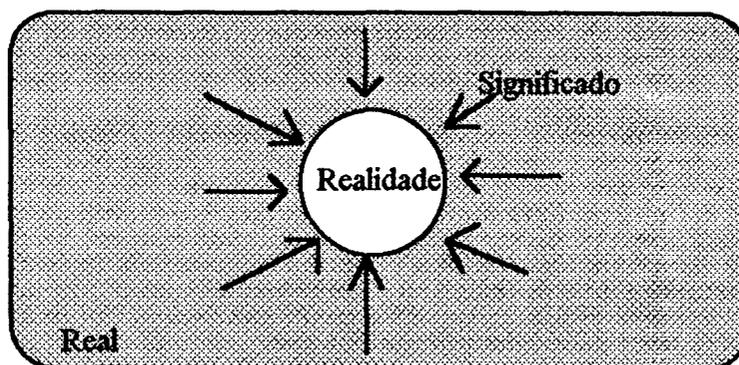
##### 2.1.1 Real e Realidade

###### Definição 1 - Real

Definimos como "Real", o mar de energias do qual fazemos parte e no qual estamos imersos.

###### Definição 2 - Realidade

Definimos como "Realidade" o significado que uma entidade atribui ao conteúdo energético ao qual tem acesso.



*Figura 2.1 - Real e Realidade*

A percepção é um processo analógico. Cada indivíduo possui um hardware, córtex visual, etc., que lhe é próprio e um conjunto de informações, banco de conhecimentos, que se deriva da sua 'gnose', experiência do mundo. A história cognitiva única de cada individualidade faz com que os conhecimentos adquiridos sejam representados em função dos esquemas existentes e/ou construídos ao longo dessa história cognitiva, os quais são particulares à cada unidade cognitiva.



*Figura 2.2 Conhecimentos são função da história cognitiva individual*

### 2.1.2 Histórico

O problema da 'possibilidade do conhecimento' vem desde o passado mais remoto. O tema da existência ou não de uma verdadeira 'gnose' era o preferido nos círculos socráticos. Platão, no diálogo 'Theeteto', concorda com Protágoras em que '*os sentidos, e com eles as qualidades que captam das coisas, têm somente valor subjetivo, porque cada sujeito os percebe de maneira diferente*'. O realismo platônico (Piaget, 1970) consiste em projetar as estruturas do conhecimento em um mundo supra sensível sem que elas dependam de um sujeito, nem humano, nem transcendental. O "Belo em si"; o "Bem em si"; etc. não são metáforas mas entidades concretas que existem fora da caverna e das quais os homens só podem conhecer de forma destorcida.

Para Piaget os maiores sistemas da história da filosofia, isto é, aqueles a partir dos quais se provocaram outros e que exerceram, eles próprios, uma influência durável, nasceram todos de uma reflexão sobre as descobertas científicas de seus próprios autores ou de uma revolução científica própria à sua época ou imediatamente anterior. Piaget cita Platão e as matemáticas; Aristóteles com a lógica e a biologia; Descartes com a álgebra e a geometria analítica; Leibnitz com o cálculo diferencial; o empirismo de Locke e Hume com suas antecipações da psicologia; Kant com a ciência Newtoniana e suas generalizações; Hegel e o marxismo com a história e a sociologia e Husserl com a logística de Frege.

Para Platão, a gnose é um processo de 'dentro para fora' e não de 'fora para dentro', ou seja, os símbolos são despertados e não criados. Os esquemas não seriam construídos mas descobertos. No *eidós* platônico as coisas pré-existem.

Segundo Piaget, se Aristóteles tivesse tido consciência das atividades do sujeito epistêmico ou operatório<sup>1</sup> e não somente do sujeito individual e se ele tivesse tido alguma intuição da evolução das espécies como o teve Leibnitz, teria sem dúvida fornecido uma teoria da construção progressiva das formas lógicas a partir das formas orgânicas.

Em seus primórdios, Ciência e Filosofia centravam suas pesquisas e indagações em torno do problema ontológico. O que somos? De que é feito o Universo? Aristóteles misturou, ainda mais, Filosofia e Ciência ao integrar o objeto do conhecimento ao conhecimento como objeto (Epistemologia). Para o sábio grego, existiriam quatro tipos de causas passíveis de identificação, em todos os efeitos observados. Se tomarmos uma estátua por exemplo, identificaríamos a *causa material* como sendo o mármore do qual ela foi feita; a *causa formal* seria a forma geométrica da estátua; a *causa eficiente* significaria a atividade do escultor e, finalmente, a *causa final*, caracterizaria o objetivo do escultor ao esculpir a estátua.

<sup>1</sup>O sujeito epistêmico, citado por Piaget, refere-se à coordenação geral das ações (reunir, ordenar, etc.).

Engels defende que, primeiramente, fabrica-se, tirando-se do objeto o conceito; depois, inverte-se tudo, medindo-se o objeto pela sua cópia, o conceito. Em outras palavras, idealiza-se o mundo a partir dos fenômenos e depois se mede o quanto o real está afastado do ideal. Hegel considerava que, quando perguntamos "*O que é o conhecimento?*", já na palavra "é" estaria contida uma concepção do ser e que esta, portanto, continuava a ser a questão central da Filosofia. Heidegger expressa a mesma opinião.

Desde a antigüidade, os objetivos da ciência tinham sido, a sabedoria, a compreensão da ordem natural e a vida em harmonia com ela. O '*espírito baconiano*' mudou profundamente a natureza e o objetivo da investigação científica. Descartes é o melhor exemplo de uma época onde ciência e filosofia já eram vistas como disciplinas separadas. Para Descartes, o mundo objetivo seria composto por duas substâncias, uma a '*res extensa*' (corpo) e outra a '*res cogitans*' (alma). Para Descartes, como em Aristóteles, matéria é quantidade e força é qualidade. Descartes descobre o sujeito epistêmico; sob a influência da álgebra, possibilidade do sujeito operar sobre suas criações livres e não mais somente sobre figuras reais ou números platonicamente imutáveis; da geometria analítica, possibilidade de uma correspondência exata entre a álgebra, domínio das operações do pensamento e a geometria, domínio da extensão e das descobertas de Galileu, transformando o tempo numa variável. "*Toda a ciência é conhecimento certo e evidente* } *concreto*  
*Rejeitamos todo conhecimento que é meramente provável e consideramos que só se deve acreditar naquelas coisas que são perfeitamente conhecidas e sobre as quais não pode haver dúvidas*".

Esta crença na certeza do conhecimento científico está no cerne do cartesianismo. Para ele a chave para a compreensão do Universo era a sua estrutura matemática que entendia como sinônimo de ciência. "*Toda a minha física nada mais é do que geometria*". Em sua tentativa de construir uma ciência natural completa, Descartes estendeu sua concepção mecanicista da matéria aos organismos vivos. O corpo humano era uma máquina conduzida pelo espírito através de uma ligação existente na glândula pineal. Essa divisão cartesiana entre espírito e matéria, somada ao trauma das perseguições medievais, conduziu à percepção do universo como um sistema mecânico, consistindo em objetos separados. Esta concepção mecanicista está na base de toda a ciência moderna. A teoria matemática de Isaac Newton, a Filosofia de Descartes e a metodologia científica defendida por Bacon conduziram à tese de que o mundo era uma imensa máquina e que mesmo os fenômenos mais complexos poderiam ser decifrados numa abordagem puramente analítica. Essa atitude, conhecida como Reduccionismo, ficou tão arraigada em nossa cultura que é confundida, ainda hoje, com o próprio método científico.

Como consequência: "*A noção fundamental peculiar à Psicologia de inspiração empirista é a da associação que, assinalada já por Hume, permanece muito em voga nos meios considerados comportamentalistas ou reflexológicos*" (Piaget, 1970)

Para Spinoza *verdade é a harmonia entre uma realidade objetiva e o reflexo que esse objeto projeta no sujeito consciente e pensante.*

O livro mais importante de Spinoza é "Ethica, geometrico modo demonstrata" (A Ética demonstrada de um modo geométrico). Nega a existência da liberdade ao mesmo tempo que defende a responsabilidade moral; nem o determinismo, nem o indeterminismo, mas uma harmonia entre esses dois extremos. Pela ignorância, os sentidos nos mantêm na inconsciência da nossa escravidão. Pela ciência, o intelecto nos torna conscientes da nossa escravidão. Pela sapiência a razão nos liberta da escravidão. É o filósofo da harmonia cósmica do universo e da harmonia cósmica (ética) da humanidade. Defende que a realidade é una e absoluta no plano objetivo do ser, mas múltipla e relativa no plano subjetivo do conhecer.

Gotfried Wilhelm von Leibnitz (1646 - 1716), grande admirador de Spinoza, é o Demócrito do século XVIII. Como Sócrates identifica o ser-bom com o ser-sábio. Vê o determinismo de Spinoza resultando no mundo-máquina, no homem robotizado e busca uma filosofia mais colorida onde o Universo obedeceria a uma 'harmonia pré-estabelecida', obra de um ser pensante livre. Sua obra mais notável é a Monadologia. A mônada é, mais ou menos, como as 'frames' de Marvin Minsky, com a diferença de que é imaterial ou energética. Existiria uma 'ciência exata' que se poderia apelidar de matemática, geometria, lógica, metafísica, religião ou qualquer outro nome posto que em sendo única a verdade, toda a expressão do conhecimento tenderia a convergir para um único ponto.

As mônadas de Leibnitz não 'tem janelas' e, portanto, não podem se harmonizar e sincronizar, por si sós, com a estupenda sinfonia que seria o universo. Há a necessidade de uma força racional que, embora inconsciente nas mônadas, integraria todos esses componentes individuais no grande todo. Leibnitz e Spinoza são evolucionistas e construtivistas. Passa-se da álgebra do finito de Descartes para a álgebra do infinito de Leibnitz.

Enquanto a construção de novas estruturas lógico-matemáticas orientava Descartes e Leibnitz para a descoberta do sujeito epistêmico, as considerações psicológicas davam origem na Grã-Bretanha à uma nova variedade de interpretação epistemológica, com o empirismo de Thomas Hobbes (1568-1677) e John Locke (1632-1704).

Abandona-se toda a metafísica, antecipando a fusão de Filosofia e Ciência. *Filosofar é 'pensar corretamente'. Quando é que o homem pensa corretamente? Quando compõe ou decompõe, mentalmente, o que, na natureza, é componível ou decomponível. Pode-se considerar a filosofia como uma espécie de matemática, que soma e subtrai, combinando as coisas suscetíveis a essas operações.* (Locke)

Na esteira da física Newtoniana, Locke desenvolveu uma concepção atomística da sociedade, descrevendo-a em termos de seu componente básico, o ser humano. Estendendo o trabalho de Hobbes, comparava a mente humana, no nascimento, a uma 'tábula rasa' em que o conhecimento é gravado, uma vez adquirido através da experiência sensorial.

Locke de certa forma, retoma a tese sofista, ao dizer que nada existe no intelecto que não tenha passado pelos sentidos, tese que Leibnitz critica, afirmando com 'ironia' socrática; "*menos o intelecto*". *Pensar é sentir. A inteligência é uma função do cérebro. Memória é a duração das sensações; recordar é tornar a sentir o que se sentiu antes. Os empiristas negam, categoricamente, a possibilidade de o sujeito cognoscente atingir o objeto cognoscendo.*

É em David Hume (1711 - 1776) que o empirismo encontra o máximo de seu desenvolvimento. Embora a palavra 'agnosticism' tenha sido primeiramente cunhada em 1869 em um encontro da "Sociedade metafísica de Londres" por T. H. Huxley, um ardente defensor da Teoria da Evolução de Darwin, é com Hume que o conceito se reveste de vida atingindo o máximo de seu desenvolvimento dialético.

Hume questiona a tese da existência divina como causa do efeito 'universo ordenado por leis'. Retoma a tese de Estátio de Lampsacus, diretor do Liceu Aristotélico e um dos fundadores da Escola de Alexandria, de que qualquer ordem que o homem venha a discernir no Universo deve ser atribuída ao próprio Universo e não a uma causa fora dele. Questiona, ainda, a validade do conhecimento pela fé e a capacidade de se conhecer além de um limite.

*O conhecimento não vem de dentro do homem, como pretende a escola socrático-platônica, mas unicamente dos objetos de fora, veiculados pelos canais adutores dos órgãos sensitivos. Nada existe no intelecto que não tenha existido nos sentidos. A semente não produz a árvore e esta não existe por causa daquela. O nexa causal é simples ficção da mente humana.*

Uma vez que nenhuma soma de induções individuais garante uma lei universal, segue-se que a ciência, no sentido tradicional, que nos garanta uma certeza plena, não existe. Não pode haver verdadeiro conhecimento científico. Um saber puramente analítico não poderia conduzir a qualquer certeza real.

Daí para a frente, o empirismo fechou-se em si mesmo. Todos os que se sucederam a Hume jamais alcançaram os limites por ele atingidos. Surge o "Empirismo pragmático" que vai sustentar o positivismo e que se traduz num 'fazer de conta' que o *conhecimento é possível quando se sabe que não é.*

É graças a Kant que a Filosofia é redirecionada para a compreensão do problema fundamental do '*como conhecemos e até onde podemos conhecer*'. Toda a vida e toda a filosofia de Kant se resume na busca, por vezes desesperada, de encontrar uma saída para o ceticismo ao qual Hume lançara a filosofia. Era preciso responder ao 'como' do conhecimento humano. Kant se serve de uma terminologia própria. Chama de "Razão Pura" (*reine vernunft*) ao intelecto analítico que se serve da matéria prima fornecida pelos sentidos para arquitetar o seu mundo científico. Chama de "Razão Prática" (*praktische vernunft*) à faculdade intuitiva de nosso ser, mais sintética do que analítica.

A Razão Pura, intelecto, operando com fatores quantitativos (espaço-tempo), reflete a ciência. A Razão Prática, operando através de valores qualitativos (eternos e infinitos), é a voz da 'consciência'. Admite, como Hume, que da mera multiplicidade dos objetos e da individualidade das percepções sensitivas, não pode emergir nenhuma unidade e, por isso, nenhuma certeza. A 'unidade' não vem 'de fora', dos objetos, mas 'de dentro', do sujeito. É desnecessário que a causa exista 'lá fora', na natureza; basta que exista 'cá dentro', no homem.

O sujeito é também objeto (para outros sujeitos). Se o sujeito foi criado pela natureza com essa categoria inseparável de causalidade, porque negar aos outros objetos essa categoria? Para Kant, a definição de tempo e espaço como categorias sensitivas e a causalidade como categoria intelectual são postulados *a priori*, não sujeitos a prova, só a fé.

As Leis que o homem está submetido são denominadas imperativos. Esses imperativos são de duas ordens; os hipotéticos, que objetivam algum fim prático e os categóricos que contêm em si mesmos suas próprias finalidades. A ciência, voz do intelecto, reflete fatos impessoais. A consciência, voz da razão (prática), cria valores pessoais. O imperativo de qualquer ciência não passaria de condicional mas, o imperativo da consciência, é categórico. A norma suprema da ética é a consciência, a voz de Deus no homem. Kant é o estoíco da filosofia contemporânea.

A interpretação empirista, mãe da Psicologia moderna, partia de um inatismo misturado com um construtivismo hesitante e incompleto com a hipótese de uma aquisição de conhecimentos em função da experiência. Kant criou uma nova variedade de interpretação epistemológica: a da *construção a priori* onde retinha a noção de construção, sob a forma de juízos sintéticos, e a idéia de inatismo, pelo menos sob a forma de uma anterioridade em relação à experiência. A inteligência não se limita a receber marcas como uma tábula rasa, mas estrutura o real por meio de formas *a priori* da sensibilidade e do entendimento.

A maioria dos filósofos defende que o estudo do desenvolvimento dialético do ser humano, em sua eterna mutação entre ser passivo, indiferenciado da natureza, e ser ativo, agente provocador de mudanças no meio que o cerca é tudo que interessa pesquisar. O 'que fazer filosófico' estaria restrito, portanto, ao fato do conhecimento, desde a investigação de como se realiza o processo de elaboração cognitiva, o pensamento propriamente dito, e de como essa atividade pensante seria comunicada.

A Ciência é um sistema de conhecimento que se assenta sobre uma visão da realidade, decorrente de determinadas premissas e definições. Esse conjunto de premissas é denominado de paradigma. Um paradigma é um somatório dos mitos e crenças dos diferentes sábios e não pode ser visto como um elemento estático ou imutável. É em função desses mitos e crenças de uma maioria que se define o que pertence e o que não pertence ao sistema; o que é 'científico' e o que não é 'científico'.

ciência

Evidentemente que, ao longo da História, essas bases seguiram uma trajetória postulação-aplicação-insuficiência, com a conseqüente substituição por premissas novas que melhor explicassem os fenômenos observados.

O objetivo da Ciência, segundo os filósofos, seria o de desvendar as feições e ocorrências do universo que envolvam o Homem. O próprio pensamento, nesse contexto, seria objeto das análises de laboratório. O Homem é autor e ator, agente e paciente; determinado pelo meio e determinante da sua própria história e da do universo. Não somente conhecedor, mas consciente do seu conhecimento.

### 2.1.3 O paradigma vigente

O paradigma que predominou em ciência, a partir do momento em que, na Renascença, separou-se o sagrado do profano, e que se sustentou até a metade do presente século, pode ser sumarizado nas seguintes premissas:

#### i) Realismo

A ciência é objetiva. As qualidades que percebemos num objeto pertencem ao objeto. Quando digo que a tinta é azul, esse conceito de 'azul' não muda de observador para observador. Os objetos existem num espaço tridimensional. Não há necessidade de mais do que três dimensões para definir qualquer objeto. O tempo é linear e independente do observador.

#### ii) Materialismo

Fato científico é aquele que:

- a) pode ser quantificado ou pelo menos seja passível de descrição de uma forma objetiva.
- b) é passível de replicação em condições controladas

#### iii) Dicotomização do real

Espírito, mente e consciência não são passíveis de análise pela ciência. A Psicologia (estudo da psique), para ser aceita pela ciência, desvia-se de seus objetivos etimológicos centrando-se no estudo do comportamento dos seres vivos (behaviorismo) desenvolvendo métodos de quantificação que possam ser replicados. As escolas psicológicas preocupadas com a psique e a própria Psicanálise não são consideradas científicas e, seus resultados, pura charlatanice.

#### iv) Determinismo

Um paradigma só é usado quando é conveniente, ou seja, quando não contraria mitos, crenças ou interesses dos que participam do movimento científico dominante. A morte de um paradigma decorre do acúmulo de dados que o contradizem. Este processo é lento e nunca conduz a uma negação pura e simples, mas a uma incorporação. O 'turning point' advém de uma maioria, em termos qualitativos, que se estabelece em Universidades, Revistas Técnicas, Mídia, etc.

As propriedades dos objetos não são consideradas, hoje, independentes do observador e da parafernália de que o mesmo se utiliza para descrevê-lo em termos quantitativos. O espaço não é um vazio, mas uma entidade capaz de sofrer distorções. Existem limites físicos a partir do qual a própria matéria é imprecisa. O Princípio da Incerteza de Heisenberg, na Física, associa os conceitos de posição e velocidade; tempo e energia; de uma forma nova e intrigante.

#### 2.1.4 O modelo holográfico

O que é Holografia? O húngaro Dennis Gabor, Prêmio Nobel de 1971, desenvolveu, em 1948, a teoria de um processo capaz de reproduzir, em três dimensões, um objeto. Só em 1960, com a invenção do laser, foi possível se colocar em prática sua teoria. Um holograma é o registro, em determinado meio; chapa fotográfica de alta definição, meios líquidos, viscosos, etc., dos padrões de interferência provocados num raio laser, luz polarizada, pelo objeto que se deseja representar. Como um holograma contém 'registros de interferência de vibrações', ele é uniforme em toda a sua extensão, ou seja, cada pedaço de um holograma é capaz de reproduzir todo o objeto, perdendo-se apenas foco e luminosidade.

Para os holistas, o Universo é um pensamento. Por mais 'fundamental' que seja o 'componente básico' ele será sempre um reflexo do todo, necessário e imprescindível para a compreensão do pensamento, na mesma medida em que um humilde segmento de reta contém o mesmo número de pontos-informações que um universo de 22 dimensões (o mais complexo já modelado pelos Físicos Teóricos)<sup>2</sup>.

Karl Pribram (biólogo) e David Bohm (físico), formularam o Paradigma Holístico, muito em voga na atualidade. Pribram considera que, uma vez que é impossível negar o aprendizado e dada a impossibilidade de se localizar a memória em algum 'lugar' no cérebro, a mesma deve estar distribuída, dispersa. Uma pista por ele perseguida foram os campos de baixa frequência gerados pelos dendritos entre os neurônios. Com a descoberta de Gabor, Pribram imaginou o cérebro humano como um holograma. O pensamento e os processos mentais funcionariam por meio de padrões de interferência vibratórias. As imagens seriam decodificações desses padrões os quais conteriam toda a informação. Cada parte do cérebro conteria toda a memória humana.

No modelo proposto por Bohm, a realidade em que vivemos é um holomovimento pertencente aquilo que denomina de ordem explícita. Nesse holomovimento cada um de nós, sem perda de individualidade, é também o todo. Esse novo paradigma não invalida a física clássica e a relativística, facilitando ainda a compreensão de muitos fenômenos impossíveis de serem compreendidos, dentro do formalismo predominante. Se 'toda a informação' é dominada pela consciência, fenômenos como telepatia e clarividência seriam facilmente explicáveis. A consciência não precisa ir até onde está a informação, ela já está lá.

---

<sup>2</sup>Ver capítulo sétimo, item 7.1

### 2.1.5 A necessidade de um novo paradigma

A necessidade de um novo paradigma decorre, como não poderia deixar de ser, de fatos científicos, negados ou relutantemente aceitos, tais como:

- ☛ O fato de que as propriedades de um corpo, como massa, etc., não serem fixas mas relativas;
- ☛ Alguns eventos físicos que, para serem descritos, precisam, no mínimo, de quatro dimensões;
- ☛ A constatação de que Matéria e Energia são a mesma coisa;
- ☛ O fato do espaço não ser um vazio mas uma entidade que pode sofrer deformação;
- ☛ O Princípio da Incerteza de Heisenberg, que determina limites físicos a partir dos quais, a própria matéria começa a ficar imprecisa.;
- ☛ O fato de não ser possível separar observador de observado;
- ☛ A necessidade de uma quinta dimensão, a consciência que, atuando pela observação, faz entrar em colapso pacotes de ondas probabilísticos, determinando o agora e, por conseguinte, o passado e o futuro; etc.

Um meio termo entre o holismo e o reducionismo, baseado naquilo que já se sabe e dentro do espírito de economia comum à ciência nos faz propor:

#### *i) Realismo relativo*

A ciência é subjetiva. As qualidades que percebemos num objeto pertencem ao trinômio objeto-observador-significado atribuído ao objeto pelo observador. Quando digo que a tinta é azul, esse conceito de 'azul' é relativo. Os objetos existem num espaço multi dimensional. Há necessidade de, além das três dimensões usuais, incluir-se outras relativas às simetrias abstratas e à consciência. Além disso, existem dimensões fractais, um continuum dimensional. O tempo não é linear, mas dependente do observador.

#### *ii) Representatividade e metodologia*

Fato científico é aquele que é passível de descrição de uma forma objetiva.

A ciência não trata da verdade mas pretende que seus modelos expressem, com cada vez maior perfeição, os resultados de experimentos e observações feitas com rigor e método.

#### *iii) Monismo*

Espírito, mente e consciência são passíveis de análise pela ciência. Não existem distinções entre sagrado e profano.

#### *iv) Probabilidade e Criticalidade*

As Leis Científicas são decorrência de uma superconsciência causal, mas estão sujeitas a oscilações provocadas pelas consciências individuais. Os organismos evoluem num sentido de alcançar um estado crítico

### 2.1.6 O momento contemporâneo

Segundo Piaget, os três grandes domínios que os problemas do conhecimento abordam são os das normas, dos fatos e da intuição. A Lógica é a ciência da verdade formal. Temos as filosofias intuicionistas, como a fenomenologia de Husserl, que não pretendem se ocupar dos fatos, reservados às ciências, mas apenas as 'formas' que estes fatos presumem. Temos as filosofias reflexivas ou dialéticas que procuram se ocupar do conjunto da realidade e não apenas da lógica formal, como o fenomenologismo de Sartre. Para o kantismo, conhecer é fabricar; para o realismo, conhecer consiste em ser ou vir a ser o outro como outro.

A despeito de todas as filosofias e questionamentos, a ciência continua a evoluir. Instrumentos cada vez mais precisos são construídos e novas teorias são desenvolvidas, para enquadrar os resultados obtidos em modelos eficientes. Karl Popper, Mario Bunge e John Watkins, representantes do Realismo Crítico, defendem as teorias científicas como métodos de construção de modelos os quais são progressivamente corrigidos, aproximando-se mais e mais de uma 'Realidade platônica'.

Outra escola entende que as leis e conceitos científicos são apenas construções matemáticas, que servem para descrever e prever fenômenos sem corresponder a nada Real. Esta posição é conhecida como Convencionalismo ou Instrumentalismo. Seriam convenções no sentido de que não tratam de nada Real. O Instrumentalismo tem afinidades tanto com o Fenomenismo, que nega que conceitos socráticos, tais como 'elétron', 'campo' ou 'força' correspondam a alguma coisa Real, como com o Operacionalismo, que prega que o único significado que podemos atribuir a um conceito científico é dado por uma operação de medida; em outras palavras, conceitos tais como 'temperatura' significam, apenas, aquilo que é medido pelo termômetro.

Seja, por exemplo, a fotossíntese. A Escola Fenomenológica enxerga o 'processo' como uma caixa preta e defende que a única coisa concreta consiste na medida do que é gasto, entra na caixa, e do que é produzido, sai da caixa. A Escola Representacional procura descobrir o que acontece dentro da caixa preta. Uma teoria, segundo os primeiros, deveria explicar o que acontece enquanto, para os outros, deveria se estender, buscando o como acontece e o porque acontece. Uma boa hipótese, como deseja Popper:

- ☛ deve ser passível de teste;
- ☛ deve ser formalmente correta, não podendo conter contradições tipo 'isto é ao mesmo tempo vermelho e não vermelho';
- ☛ não deve ser vazia de significado. 'Hoje ou é domingo ou qualquer outro dia da semana') e;
- ☛ deve ser compatível com o conhecimento científico. A relatividade tem que explicar, também, o que é explicado pela Física de Newton.

Para as teorias, pede-se que os conceitos estejam bem definidos e que tenham um único significado; que os postulados, baseados em conceitos primitivos, o ponto de Euclides, por exemplo, sejam especificados de modo claro e ordenado e que a partir da teoria seja possível se fazer previsões que possam ser objeto de experimentos.

Deixando de lado tantos ismos, concordamos com Platão quando ele defende a verdade do conceito. Concordamos com Heráclito quando ele defende que tudo, no nosso espaço-tempo Einsteiniano é movimento e, enquanto movimento, mutável. Concordamos com Popper que no nosso universo em evolução, as teorias são percepções aproximadas da verdade, posto que essa verdade espacial e temporal obedece a flutuações decorrentes da influência de nossas próprias consciências, atuando nos sistemas físicos e biológicos em busca do universal, que só pode ser encontrada nessa região pré-cósmica para onde nos envia Platão e que tem toda a paradisíaca estabilidade defendida por Zeno.

A matemática que precisamos ao lidar com o cérebro humano e o problema do pensamento é a de Cantor, ressuscitada pelos fractais de Mandelbrot. Somos entidades autopoieticas extremamente complexas, operando numa região de criticalidade, absolutamente não lineares e variantes no tempo.

Quando lidamos com infinitos, o todo não é, necessariamente, igual a soma das partes e cada uma das partes não é, necessariamente, menor do que o todo. Análise e síntese não são visões opostas mais complementares, meras etapas da dinâmica que conduz ao conhecimento. Qualquer teoria deve ser vista como um limite do até onde somos capazes de conhecer e de transmitir esse conhecimento.

## 2.2 A Máquina Humana de Construção dos Conhecimentos

### 2.2.1 As teses de Condillac

Condillac (1715 - 1780), em seu "Tratado sobre as Sensações", se tornou célebre ao utilizar a imagem de uma estátua que, pouco a pouco se animava, de forma a mostrar a gênese progressiva do psiquismo a partir das sensações. Tentou integrar duas teses aparentemente difíceis de serem conciliadas. De uma parte, demonstrar que animais não são máquinas, o que permitiria salvaguardar, a posteriori, a característica não mecanicista do comportamento humano. De outra parte, estabelecer, não menos firmemente, a diferença entre os homens e os animais, sem apelar para supostos compromissos teológicos.

A primeira tese constitui-se num dos pontos centrais do seu "Tratado dos Animais": *"É impossível conceber que o mecanicismo, somente, possa regular as ações dos animais. Certos comportamentos parecem automáticos, não se tratando de um automatismo mecânico: É uma habilidade adquirida pelo exercício de uma certa reflexão. O conhecimento escrito não é absolutamente necessário para regular a ação que ocorre no interior do ser"*. Quanto a sua segunda tese, Condillac se apoia sobre a maneira diferente pela qual o organismo humano e o organismo animal progredem pela ontogênese: O primeiro nasce mais despojado atingindo, no entanto, um maior nível de perfeição, enquanto que o segundo nasce melhor armado, elevando-se rapidamente a sua condição de desenvolvimento máximo e à plena satisfação de suas necessidades, não sendo, por outro lado, mais do que mediocrementemente maleável.

Condillac (op. cit.) considerou, ainda, que a existência de fenômenos cognitivos pertencem tanto aos animais como aos homens, o que limitaria a aplicabilidade do mecanicismo. A linguagem mecanicista dos 'por-se em movimentação, agitar-se, etc.' não pode, com efeito, explicar, de forma adequada, o comportamento dos animais. O conhecimento, isto é, fenômenos relativos à 'combinação de idéias', marcam, para Condillac, os limites do mecanicismo.

### 2.2.2 Buffon e La Mettrie

Foi La Mettrie (1709 - 1751) quem enfrentou com certa coragem as consequências filosóficas de um mecanicismo rigorosamente generalizado; o **materialismo**; não somente no sentido tradicional, mas também naquele que afirma que somente a matéria pode exercer um papel causal.

No século XVIII seria possível, falando de forma grosseira, partir-se do mecanicismo para tentar compreender os comportamentos tanto de animais como de humanos. O mecanicismo, sob certos ângulos, é uma hipótese análoga ao computacionalismo: ambas sugerem que existe uma teoria científica capaz de servir de paradigma causal para a explicação dos fenômenos tradicionalmente considerados como de tipo superior. Supõe que uma importante classe de fatos, até então interpretados de maneira teológica, possam ser explicados por um sistema de determinantes puramente físicos que considerem, somente, os movimentos dos corpos, submetidos a certas forças.

Buffon sustentou, seguindo os passos de Descartes, que o comportamento dos animais poderia ser explicado em termos materialistas: "*O vivente e o animado, além de ser um grau metafísico dos seres, é uma propriedade física da matéria*".

Os animais não seriam, assim, mais do que um corpo. Buffon faz, do mecanicismo, um uso parcial e prudente. Recusa o reducionismo que trataria de compreender um animal como um conjunto de engrenagens e polias, à maneira de Descartes, completando os esquemas mecanicistas pela evocação de 'forças interiores', presentes dentro dos corpos organizados e cuja complexidade desafiaria toda esperança de redução.

A posição de Buffon (1707 - 1788), monista e materialista a propósito dos animais, mais dualista no que concerne ao homem, tem suscitado dois tipos de objeção:

Por um lado, certos dualistas, como resposta às suas inquietudes teológicas, consideram que se alguém explicar a inteligência animal em termos naturalistas, chegará a vez de se ser capaz de explicar a alma humana, mesmo que essa seja vista como bem distinta dos corpos sobre os quais atua.

Por outro lado, os filósofos que desejam, ao contrário, radicalizar a hipótese mecanicista, não se sentem satisfeitos com o dualismo de Buffon que nega aos animais as mais elementares capacidades cognitivas.

### 2.2.3 Os sistemas formais de Frege

A realização científica que permitiu a elaboração do projeto relativo à inteligência artificial pode ser datado de 1903 com "*As Leis Fundamentais da Aritmética*", de Frege, obra inaugural de reconstrução, em termos lógicos, dos teoremas da aritmética, e que foi acompanhado por numerosos outros trabalhos similares dentre os quais citamos, em particular, os "*Principia Mathematica*" de Russel e Whitehead. Um *Sistema Formal* é um conjunto de axiomas e de regras de dedução. Os elementos desses sistemas são formais no sentido de que eles não podem ser manipulados sem ser conforme as regras relativas a cada símbolo. Somente a forma do símbolo é tomada em conta na hora da computação. Isto não quer dizer que os símbolos não possam receber uma interpretação, isto é, um sentido, mas uma vez que um sentido seja atribuído aos termos primitivos, não pode haver uma intervenção nova durante o cálculo.

O conceito associado aos sistemas formais realiza o ideal de Leibnitz de um pensamento cego, ou seja, de um pensamento que não progride mais pela reflexão sobre o seu próprio conteúdo mas que procede por meio de regras aplicadas às suas configurações de sinais.

### 2.2.4 As máquinas pensantes de Alan M. Turing

Um teste clássico para se checar se temos em mãos uma máquina pensante, foi proposto por Alan M. Turing, considerado o Pai da Inteligência Artificial: "*Se um computador pode se desempenhar de tal maneira que um especialista não consegue distinguir o seu desempenho do de um ser humano com determinada habilidade cognitiva, isto significa que o computador também possui essa habilidade*". O computador de Turing é uma máquina universal capaz de simular qualquer máquina, bastando, para isso, se escrever os programas adequados. Seria possível, portanto, desenvolver máquinas pensantes, partindo-se do pressuposto que o ser humano, como querem os mecanicistas, não seria nada mais do que uma máquina discreta, ainda que extremamente complexa.

*"Desde que fique claro que tais e tais afirmações decorram de fatos bem estabelecidos e outras de conjecturas, não há nenhum mal em fazer conjecturas. Conjecturas são de grande importância por apontarem promissores campos de pesquisa"*.

No trabalho original de Turing (1950) diversas objeções foram levantadas e respondidas. Essas objeções são, até os dias de hoje, repetidas sobre as mais diferentes roupagens, razão pela qual nos interessa revê-las:

#### ✂ Objeção Teológica

*"O pensamento é uma função da alma imortal do ser humano. Deus deu uma alma imortal para todo homem e mulher, mas não para qualquer animal ou máquina"*.

- ☛ O Argumento "É melhor enfiar a cabeça na areia como um avestruz"  
*"Imaginar as consequências de máquinas que fossem capazes de pensar é ... terrível demais. Vamos esperar e acreditar que tal horror não seja possível!"*

- ☛ A Objeção Matemática

Existe um certo número de resultados em Lógica Matemática que podem ser usados para mostrar que existem limitações quanto a capacidade de máquinas discretas. O Teorema de Gödel mostra que há limitações para máquinas de estados discretos. Por mais poderoso que seja um determinado sistema lógico, existem teoremas que não poderiam ser provados ou invalidados. Para usar o Teorema de Gödel seria necessário, primeiro, estabelecer uma correlação entre sistemas lógicos e máquinas. O resultado seria, por exemplo, um computador digital de capacidade infinita. Ainda assim, estipula o teorema, existiriam tarefas que essa máquina seria incapaz de realizar. Daria respostas erradas para algumas perguntas ou não daria resposta alguma, independente do tempo (falha).

*Ainda que uma máquina fosse incapaz de acertar todas as questões a ela formuladas, não ocorre o mesmo com a máquina humana?*

- ☛ O Argumento relativo à consciência

*"Só quando uma máquina for capaz de escrever um soneto ou compor um concerto com base em emoções e pensamentos próprios e não por puro acidente, poderia concordar que a máquina iguala o cérebro, isto é, não apenas escrever, mas saber que escreveu. Nenhum mecanismo poderia sentir (e não meramente sinalizar artificialmente) prazer pelo seu sucesso ou pesar pelo fracasso, se envaidecer com os elogios, etc., etc."*

- ☛ Argumentos relativos a diversas incapacidades

*"Eu garanto que você pode construir máquinas que façam tudo o que você disse que elas podem fazer, mas eu duvido que ela faça X"*

- ☛ Objeção de Lady Lovelace

*"A Máquina Analítica não tem pretensão de ser criativa em qualquer aspecto. Ela só é capaz de realizar aquilo que programamos"* (Relativo ao computador mecânico de Babbage)

- ☛ O Argumento relativo à informalidade do comportamento

*"Não é possível produzir um conjunto de regras que cubra todos os eventuais procedimentos humanos em todas as situações possíveis".*

- ☛ O Argumento relativo à percepção extra sensorial

*"Telepatia, Clarividência, Pré-Cognição e Psicocinese parecem negar nossas idéias científicas usuais. Infelizmente as estatísticas reforçam ESP"*

A discussão sobre os trabalhos de Turing rende, ainda hoje, intermináveis discussões, livros e artigos. Defensores que somos da validade da conjectura de Turing cabe-nos o papel de enumerar e criticar as 'falácias' lógicas levantadas pelos opositores contemporâneos. De forma geral, esses opositores têm suas origens nas áreas humanísticas, enquanto que os que partiram da engenharia, ciência da computação, etc. e mergulharam nos meandros da inteligência artificial defendem a possibilidade da construção das tais máquinas pensantes.

#### ☛ Falácia intuitiva

Este argumento é uma nova versão que mistura o 'argumento relativo à diversas incapacidades' e o 'argumento relativo à informalidade do comportamento' já respondidos pelo próprio Turing e diz que *"os computadores nunca serão capazes de fazer tudo o que os seres humanos fazem porque os computadores se apoiam exclusivamente em regras, enquanto as pessoas agem intuitivamente, com uma espécie viva mas não identificável de inferência derivada da experiência"*.

Hubert Dreyfus, filósofo da Universidade da Califórnia escreveu sobre as falhas dos sistemas inteligentes de diagnóstico para a área médica. *O INTERNIST-I errou 18 em 43 diagnósticos enquanto uma equipe de clínicos do Hospital Geral de Massachusetts errou apenas em 15 e uma comissão de especialistas médicos em somente 8.*

A única conclusão que se pode tirar do desempenho do INTERNIST é a de que, no estágio ainda embrionário de construção de máquinas inteligentes, já se conseguem resultados que superam os que seriam obtidos pela maioria dos médicos humanos.

#### ☛ Falácia intencional

A crítica mais citada ao 'artigo' de Turing é a de J. R. Searle (1980).

-*"Pode uma máquina pensar?"*

-*"Sim, nós somos essas máquinas"*

-*"Sim, mas seria possível construir um artefato, algo feito pelo homem, que pensasse?"*

-*"Assumindo-se que fosse possível construir artificialmente uma máquina com um sistema nervoso, neurônios com dendritos e axônios ... Se você duplicar as causas você obtém os efeitos ..."*

-*"O.K.!, mas é possível, a um computador digital, pensar?"*

-*"Se quando você fala em computador digital você fala de alguma coisa que tenha um nível de descrição o qual pode ser visto como a instanciação de um programa de computador, de novo a resposta é sim, desde que nós somos a instanciação de um número qualquer de programas e nós podemos pensar."*

-*"Mas poderia alguma coisa pensar, entender e etc., com base apenas no fato de ser um computador com o tipo certo de programa"*.

-*"Não!"*

-*"Porque não?"*

*-"Porque a mera manipulação de símbolos não demonstra nenhuma intencionalidade. Os símbolos não simbolizam coisa nenhuma, são sintáticos e não semânticos. A intencionalidade que um computador possa aparentar ter existe somente nas mentes daqueles que o programam".*

Tanto programas como pensamentos são definidos em termos de manipulação de símbolos. Os símbolos são puramente formais do ponto de vista da máquina, ou seja, são sintáticos. Um computador digital processa informações, codificando-as de determinada maneira (0s e 1s, por exemplo), daí então manipulando-os de acordo com regras estabelecidas. A mente humana, por sua vez, lida com símbolos semânticos, ou seja, com símbolos aos quais associa algum significado. A mera manipulação de símbolos não seria suficiente, dizem os que defendem a impossibilidade da máquina pensante, para garantir o conhecimento de seus significados. Esta diferenciação desafia a proposição de Turing, pois podemos imaginar uma infinidade de experimentos onde o 'especialista' seria incapaz de distinguir entre uma máquina executando determinado programa e uma mente mergulhada no ato de pensar.

Searle aponta três pontos onde a equação "mentes estão para cérebros como programas estão para um hardware" é quebrada.

- ☛ Somente coisas com o mesmo poder causal que cérebros podem ter intencionalidade. O mesmo programa pode efetuar todo o tipo de realizações malucas sem nenhuma intencionalidade.
- ☛ O programa é puramente formal enquanto os estados intencionais (a crença de que está chovendo) são definidos em termos de seu conteúdo e não de sua forma (esta crença não assume nenhuma forma, mas é representada como um conteúdo mental com condições que devem ser satisfeitas).
- ☛ Estados Mentais e Eventos são, literalmente, um produto do cérebro enquanto programas não são produtos do computador.

A crença, absurda segundo Searle, de que computadores possam pensar se deve a:

- ☛ As pessoas "processam as informações" para obter algum resultado. Computadores manipulam símbolos formais o que não é a mesma coisa.
- ☛ O Behaviorismo e o Operacionalismo por trás de Inteligência Artificial fazem com que se confunda a semelhança entre entradas e saídas com as caixas pretas cérebro e computador.
- ☛ De novo o Operacionalismo e o Dualismo fazem com que se distinga, em Inteligência Artificial, mente e cérebro. O que importa são programas e programas são independentes de sua realização pelas máquinas. Em outras palavras, Searle é contra o Funcionalismo e o Dualismo e entende que a analogia Cérebro (Hardware), Mente (Software) é absurda.

Anexo ao 'artigo' de Searle diversas críticas ao artigo e respostas e essas críticas foram apresentadas as quais valem a pena ser mencionadas. O trabalho de Searle é, ainda hoje, a sustentação de muitos que argumentam contra a possibilidade das máquinas pensantes de Turing.

⊙ A Resposta do Sistema (Berkeley)

"Enquanto possa ser verdade que um indivíduo trancado em seu quarto não entenda uma história, o fato é que esse indivíduo é meramente parte de um sistema inteiro e o sistema 'entende' a história".

⊙ A Resposta do robô (Yale)

"Suponha que nós coloquemos um computador dentro de um robô e que esse computador não aceite simplesmente símbolos formais como entrada e produza símbolos formais como saída, mas que opere efetivamente o robô de forma que este perceba coisas, caminhe, coma, beba, etc. Este robô, ao contrário da máquina sem interfaces com o mundo externo, seria capaz de entender"

⊙ A Resposta de um Simulador de Cérebros (MIT e Berkeley)

"Suponha que nós desenvolvamos um programa que não represente as informações que nós temos acerca do mundo, mas que simule a seqüência real de disparos dos neurônios que ocorre num cérebro de um Chinês quando este entende histórias em Chinês ..."

⊙ Sistema + Robô + Simulador (Berkeley e Stanford)

⊙ Psicólogo Bruce Bridgement

Nem mesmo os seres humanos estão plenamente cientes das operações mentais que revestem o pensamento consciente.

⊙ Hofstadter

O homem da sala chinesa não é, funcionalmente, mas sofisticado do que alguns neurônios e de que tal sistema não poderia, possivelmente, conseguir algo tão complexo e sutil como tradução de idiomas.

⊙ Behavioristas

O cepticismo quanto a máquina ter uma mente implica num cepticismo quanto a existência de uma mente humana

◊ etc.

#### ◊ Falácia emocional

*"A aprovação de uma máquina no teste de Turing depende da mente do observador. Onde já fomos animais racionais, agora somos computadores que sentem, máquinas emocionais". (Sherry Turkle, apud Konner, 1988)*

*"Computadores não podem simular a comunhão silenciosa que uma mãe e um pai partilham quando se encontram junto à cama do filho que dorme ...". (Weizenbaum, apud Konner, 1988).*

De forma modesta, esta tese de doutorado tem a pretensão de contribuir para a demonstração da falácia dessa argumentação.

### 2.2.5 Bases Históricas da Inteligência Artificial

Parece não ser, ainda, a hora do paradigma científico permitir que se defina, de forma consensual, de maneira puramente pré-paradigmática, o que venha a ser a cognição. As opiniões a este propósito abundam. Para uns, como vimos, a cognição é uma propriedade de todos os organismos vivos, para outros, somente humanos, para outros ainda, ela é praticamente sinônimo de inteligência racional. Como consequência, as "ciências cognitivas", atualmente, não são mais do que uma coleção heterogênea de disciplinas tais como a epistemologia, a informática, a lógica, as neurociências, a psicologia cognitiva, a sociologia do conhecimento, etc.

No berço do pensamento ocidental, filosofia e ciência sempre caminharam juntas, seja quanto a instrução como quanto à pesquisa em relação ao conhecimento. A própria noção de "ciências da cognição" *-ainda que não esteja realizada-* sugere um programa de pesquisa científico em "epistemologia natural". A reflexividade intrínseca à proposta das ciências cognitivas, reflexividade evidente na expressão "conhecimento do conhecimento", significa que algo tradicionalmente do domínio da filosofia poderá, legitimamente, ser considerado como parte integrante de um trabalho científico.

Foi só em 1956, no entanto, que matemáticos, psicólogos e engenheiros de sistemas, reunidos em conferência no Dartmouth College, inventaram a expressão "Inteligência Artificial".

Segundo o paradigma computacionalista; pensar é o mesmo que abstrair, representar, calcular. Seguindo a idéia de Alan Turing, afirmavam a possibilidade de simular, artificialmente, o pensamento.

### 2.3 Os paradigmas associados à Inteligência Artificial

A definição clássica de inteligência artificial, atribuída a Minsky: *Disciplina que tem por objetivo fabricar máquinas que façam coisas que, realizadas pelo homem, demandem inteligência* traz, em si mesma, a ambigüidade ligada à expressão "coisas que demandem inteligência" e que resume a dificuldade conceptual. Quem vai ser responsável por delimitar *as coisas* de que estamos falando, e de caracterizar o que vem a ser comportamento inteligente?

Para Searle, a inteligência artificial serviria apenas para *formular e testar as hipóteses concernentes a natureza e ao funcionamento do espírito de uma forma mais rigorosa e mais precisa*. (Searle, 1980, p.417). Já a hipótese cognitivista, mais pretenciosa, afirma que *todo pensamento é um cálculo sobre símbolos, de tal forma que só seriam pertinentes as considerações de forma*. Se formos capazes de exibir as condições formais, as mais gerais, da cognição, será, por conseguinte, possível fazer efetuar por um "computador" as tarefas, as mais difíceis que sejam, que os homens já tenham encontrado.

Alguns procuram subordinar o trabalho do engenheiro de inteligência artificial à Psicologia. Outros pretendem estender o papel do 'computador' em psicologia para as ciências naturais. Não se pretende, dentro desta perspectiva, que a inteligência artificial produza algo análogo ao espírito humano. Dessa discussão emergem duas conceituações distintas:

#### **Definição 3 Inteligência artificial forte**

*Denomina-se Inteligência artificial forte a que acredita ser possível construir uma máquina de Turing capaz de produzir algo análogo ao espírito humano.*

#### **Definição 4 Inteligência artificial fraca**

*Denomina-se Inteligência artificial fraca a que acredita não ser possível construir algo análogo ao espírito humano.*

#### **2.3.1 Mecanicismo e Computacionalismo**

O paradigma da Inteligência Artificial Clássica, tem muitos pontos em comum com o mecanicismo. Antes de mais nada, ambos se movem, num e noutro caso, no sentido de entender uma nova classe de fatos que se verificam dentro de determinado domínio teórico e, em particular, em compreender os fenômenos relevantes da mente, animal ou humana e, de forma mais geral, a cognição, buscando integrar modelos tomados emprestados de diversas áreas da ciência, seja da Mecânica Racional, como é o caso do mecanicismo dos séculos XVII e XVIII, seja da Lógica e da Informática, como é o caso da Inteligência Artificial.

Ainda fazendo analogia com o mecanicismo, como justificar a hipótese cognitivista, isto é, como estender esses trabalhos, inicialmente lógico-matemáticos, em direção à cognição em geral?

Estudos sobre a computabilidade, realizados por Alan Turing e Alonzo Church (apud Hofstadter, 1980) permitiram que se desse um sentido matemático preciso à idéia de uma máquina capaz de efetuar cálculos automaticamente, não apenas sobre números inteiros, mas também sobre símbolos primitivos convenientemente codificados em termos numéricos.

A 'máquina de Turing' pode ser vista como um sistema formal, um procedimento físico que manipula automaticamente os elementos de um sistema, segundo as regras deste sistema. O resultado essencial a que chegaram Turing e Church, dentro da perspectiva da inteligência artificial, consistiu em demonstrar a existência das máquinas de Turing, ditas universais, capazes de simular não importa qual outra máquina de Turing e, por conseguinte, de calcular todas as funções calculáveis quer por outra máquina quer pelo espírito humano. A hipótese suplementar que dá corpo à pesquisa em Inteligência Artificial é a de que "pensar é calcular".

Este novo tipo de mecanicismo não se sustenta mais, como o antigo, sobre a universalidade das leis do movimento mas sobre a universalidade das capacidades de cálculo de certas máquinas. As propriedades da "máquina abstrata" são entendidas como a descrição formal de estados sucessivos de uma Máquina de Turing. Através de cálculos feitos por essas máquinas poder-se-ia compreender todos os fenômenos de forma similar à pretensão mecanicista de uma explicação Newtoniana.

As pesquisas em inteligência artificial são confrontadas pelo mesmo tipo de dilema filosófico que enfrentaram os mecanicistas. O problema não é tanto o de como subtrair o conjunto da cognição do domínio do mecanicismo mas, simplesmente, o de tentar limitar a parte mecanizável do psiquismo.

- ☞ Pode-se considerar a pesquisa dentro do domínio da hipótese computacional, como uma extensão do reducionismo aos setores do pensamento natural. O cálculo e a automatização seriam suficientes ao exercício das atividades cognitivas. Um pouco dentro do espírito de Condillac, poder-se-ia admitir algum grau de mecanização, mas que estaria limitada ao domínio daquilo que se chama de "inteligência operacional" e ao "pensamento formal", com a exclusão de tudo que escapasse dessa definição. Poder-se-ia, ainda, evocar uma *intuição* transcendente a todo mecanicismo, resultante da experiência global do mundo, e que seria produzido pelos corpos, e uma *intensionalidade*, como algum tipo de fluido biodinâmico incapaz de ser explicado por qualquer teoria mecanicista. Esta forma de ver o problema conduz, como definido, ao que denominamos por inteligência artificial fraca.
- ☞ Pode-se radicalizar a hipótese computacional, do jeito como foi feito por La Mettrie com relação ao mecanicismo: A inteligência artificial, dentro dessa visão forte, permitiria simular um conjunto de comportamentos, ditos inteligentes, e considerar que o homem, o animal e os 'computadores' são, sob um certo ponto de vista, comparáveis, dentro de suas capacidades de raciocínio.

Certos pesquisadores têm estimado que a tarefa da Inteligência Artificial deveria se restringir à simulação da cognição humana. Este é o exemplo de Marvin Minsky e de Roger Schanck. Outros têm pensado que a generalização para a máquina do conceito de inteligência, sugere que se deva resgatar o conceito do que seja 'condição humana'. Dentro dessa ótica o homem é visto como um fator específico relevante, mas não único, do comportamento inteligente.

### 2.3.2 Logicismo (Racionalismo)

Duas abordagens estão, atualmente, constituídas: a abordagem racionalista e a abordagem naturalista: As duas abordagens têm em comum o fato de pesquisarem sobre as condições, as mais gerais possíveis, em que se pode falar sobre inteligência. Dois tipos distintos de respostas são possíveis, segundo a maneira pela qual alguém compreende a generalidade mesmo da questão.

McCarthy, modo estruturalista lógico; Newell e Simon, modo comportamentalista, impressionados pelo progresso da tecnologia da informática, desejam desenvolver a hipótese cognitivista atrelando-a ao campo largamente aberto à uma reconstrução racional dos comportamentos inteligentes.

Os que seguem o modo estruturalista caracterizam-se pelo seguinte conjunto de pressupostos:

- ⊗ 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;
- ⊗ Só é viável a inteligência de máquinas em máquinas que já contenham, em suas estruturas, os princípios necessários ao comportamento inteligente.

Dentro dessas premissas a tarefa da inteligência artificial seria a de identificar os recursos estruturais que dão suporte ao comportamento inteligente e, a partir daí, implementá-los mecanicamente. Dentro desse enfoque, duas correntes distintas de pensamento podem ser identificadas, a saber:

- ⊗ O comportamento inteligente do ser humano pode ser explicado em termos do funcionamento da rede neuronal do cérebro (correntes Fisiologistas da Psicologia).
- ⊗ O comportamento inteligente se suporta não em estruturas fisiológicas mas em estruturas lógicas (estruturalistas lógicos).

Os que seguem o modo comportamentalista caracterizam-se pelo seguinte conjunto de pressupostos:

- ⊗ 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;

○ Nada há de intrínseco em uma máquina que possa ser considerado como sua inteligência.

Dentro dessas premissas a tarefa da inteligência artificial seria a construção da inteligência de máquina tomando-se a inteligência humana como modelo; em outras palavras, a inteligência de máquina seria uma inteligência simulada.

Os defensores da reconstrução racional, herdeiros em linha direta de uma filosofia da lógica que leva em conta as influências do logicismo de Frege e de Russel e o formalismo de Hilbert, consideram conveniente dar à questão toda a sua universalidade, analisando as condições formais a priori de todo comportamento inteligente. As vantagens desta abordagem é que a questão colocada: *Em quais condições um sistema pode ser dito inteligente*, recebe uma resposta exaustiva, fundamentada e ainda capaz de orientar a pesquisa na direção que se mostrar mais frutuosa.

Esta maneira de proceder não deixa de ter analogias com a tomada por Kant em sua "Crítica da Razão Pura". O procedimento, nas duas abordagens, pretende responder a questão de *como pode alguém chegar, de fato, a tal conhecimento, descrever tal ou qual comportamento inteligente*, para remontar não mais às condições às mais gerais, mas aos sistemas capazes de formar essas condições.

Foi um dos fundadores da inteligência artificial, Allen Newell quem, trabalhando nessa direção, desenvolveu a resposta mais detalhada. Evoquemos dois aspectos essenciais de sua filosofia, e que estão centrados sobre os conceitos de Sistemas Simbólicos Físicos e de Arquitetura.

### 2.3.2.1 A Idéia de Sistemas Simbólicos Físicos

O suporte ao comportamento inteligente para Newell, não é o homem concreto, mas o elemento constitutivo das capacidades operatórias (capacidade de operar sobre símbolos) de um organismo ou uma máquina sendo, por conseguinte, segundo a hipótese computacionalista, visto como uma instância de um sistema físico simbólico.

O essencial para um sistema simbólico reside nas propriedades formais que o habilitam a realizar seus cálculos. Ele deve comportar as regras que determinam o sentido operatório sobre os símbolos (elementos constituintes) os quais devem poder ser reduzidos, por decomposição, a uma lista finita de termos primitivos. Enfim, regras de construção das expressões devem explicitar as associações de símbolos que sejam legítimas.

Para ser causalmente eficaz, no mundo, e não ser apenas "uma máquina abstrata", o sistema simbólico deve ser físico: realizado fisicamente de um material qualquer capaz de instanciar as estruturas formais de maneira adequada e estável, resistente à deterioração, tanto no que tange à memória como à inferência.

Do conceito de *sistema simbólico*, tal qual é, por exemplo, o que ocorre nas linguagens Lisp e Prolog, pode-se derivar/justificar as condições necessárias e suficientes da inteligência. A proposta racionalista reflete a predileção pelas linguagens de programação lógicas, mais adequadas a representações dessas 'condições necessárias e suficientes da inteligência'.

Um nível consiste de um meio que forma o material sobre o qual se efetua uma atividade característica (corrente elétrica de uma certa voltagem, bits ao nível lógico, ou vetores de bits ao nível de transferência de registros, ou expressões simbólicas ao nível simbólico, ou conjuntos de dados ao nível da configuração). Compreende os componentes que constituem os termos primitivos do cálculo, as leis de comportamento que determinam a maneira pela qual o comportamento de um sistema é influenciado pelo comportamento dos componentes desse sistema e a própria estrutura do sistema.

A noção de arquitetura, assim compreendida, é a base da hipótese relativa à Inteligência Artificial Forte. Ela se sustenta na tese funcionalista de que um nível é fisicamente realizável de diversas maneiras. Não é portanto, a natureza física do meio que determina o desempenho correto de um determinado nível dado, mesmo se as diferenças de comodidade ou de fidelidade possam pleitear em favor de tal e tal suporte.

Assim, admite-se que a diferença de composição psico-química entre o cérebro humano ou animal e o computador não é suficiente para reservar ao cérebro a capacidade de ser a única origem possível de estados mentais. Seria pois, possível, atribuir intencionalidade tanto a um sistema automático como a um sistema humano, reconhecendo-se que, em ambos os casos, não é a instanciação física que determina o comportamento de um certo nível, mas as estruturas, as leis de composição operantes sobre os constituintes particulares àquele nível.

Duas características dos níveis são pertinentes para a idéia da inteligência geral. Inicialmente, um nível determinado pode sempre ser descrito e compreendido de maneira autônoma, sem fazer referência a outro nível. Pode-se, adicionalmente, reduzir um nível ao nível imediatamente inferior. Que alguém possa reduzir cada nível ao nível inferior não implica que um nível não tenha o seu próprio tipo de inteligibilidade e autonomia organizacional. *Em virtude dessa concepção da arquitetura, pode-se atribuir a um sistema informático estados mentais tais como as crenças, as esperanças, etc.*

Newell propôs que se chamasse "nível de conhecimento" ao nível superior da arquitetura dos sistemas de Inteligência Artificial. Os componentes são como os "alvos", as ações e os corpos que se constituem, os agentes. O meio desse nível é, precisamente, o conhecimento.

Nesse nível, o agente trata seus conhecimentos para decidir sobre suas ações. A lei de comportamento é dada, aqui, pelo princípio de racionalidade. As ações são escolhidas de sorte a favorecer que se alcancem os alvos.

Uma ilustração concreta desse tipo de orientação da pesquisa é fornecido pelo *Soar*, de Laird, Newell e Rosenbloom, apresentado em 1987. O *Soar* é um sistema complexo cujo objetivo explícito é o de fornecer "a arquitetura da inteligência geral"; em outros termos, de mostrar como um sistema é capaz de realizar toda a gama das tarefas cognitivas, quer se trate de trabalhos de rotina ou de problemas abertos, de empregar todas as armas dos métodos de resolução de problemas e de representações correlatas apropriadas, e, enfim, de aprender tudo o que concerne aos diversos aspectos das tarefas, e portanto, em utilizar os meios os mais universais possíveis.

Uma das originalidades do *Soar* reside no esforço de facilitar a comunicação entre representações e inferências: a representação do conhecimento tem muito pouco de pré-organização (arranjada em domínios disjuntos). O conjunto dos conhecimentos é estabelecido sob a forma declarativa. O conjunto de "alvos" é igualmente representado sob uma forma única, que é aquela do "espaço de problemas". O sistema demonstra, por outro lado, que a produção de "alvos" pode ser feita automaticamente, graças a forma como a arquitetura é organizada.

### 2.3.3 Naturalismo

O paradigma naturalista relativo à Inteligência Artificial se distingue da Inteligência Artificial Forte de Newell, da reconstrução racionalista, por restringir a questão da inteligência ao domínio dos fatos, se recusando, por conseguinte, de pesquisar as condições a priori da inteligência (independentes da cognição humana).

Esta posição, desenvolvida por Minsky (1975), visa combater, principalmente, a escola logicista. Minsky reprova sobretudo a esta escola o fato de privilegiar considerações formais sobre as exigências ligadas à heurística. Assim, ele não crê na possibilidade de aplicar a sistemas cognitivos reais, como é o caso do espírito humano, a distinção normalmente feita entre conhecimento de um lado e estrutura de conhecimento do outro. *"Não se pode dissociar, dentro do espírito, seus conhecimentos e a maneira pela qual esses conhecimentos são integrados em sua organização adaptativa global e a seus princípios de funcionamento"*

Os defensores do modo funcionalista, se perguntam: O que é a inteligência da máquina? O termo 'aspecto funcional' de um sistema diz respeito aos aspectos de interação do sistema com o meio em que está inserido. Refere-se às 'trocas funcionais' entre o sistema e o ambiente. No enfoque funcionalista o conceito de inteligência de máquina reflete o grau de adaptação ao ambiente e se define pela forma, ou 'estrutura' das coordenações possíveis entre as ações do sistema e do ambiente. A tarefa da inteligência artificial, dentro dessas premissas seria o desenvolvimento de formas que favoreçam uma adaptação cada vez maior de uma máquina ao meio ambiente em que pretende funcionar.

Esta idéia de estruturar o conhecimento em função do modo de aquisição e do modo de mobilização daqueles inspirou, em Minsky, o conceito de *frame*: um quadro cognitivo dentro do qual se organizam os conceitos subordinados a um certo alvo.

Schanck desenvolveu um modelo de memória como sendo uma hierarquia de estruturas organizadas de acordo com as finalidades desses quadros. Uma *frame* é uma estrutura de dados; uma espécie de rede, com nós e relações. Os níveis superiores são fixos e representam coisas que são sempre verdade para determinada situação. Os níveis mais baixos apresentam terminais, que devem ser preenchidas com instâncias específicas desses dados. Um trabalho mais recente de Minsky, exposto no livro "A Sociedade do Espírito", retoma a idéia das estruturas associativas e hierarquizadas, as Linhas K.

A versão logicista e a versão naturalista da inteligência artificial tendem, hoje em dia, a se fundir, diante dos problemas encontrados para a formalização do conhecimento do senso comum. Sublinhamos que essas duas versões da inteligência artificial forte defendem uma definição materialista do que seja "mental".

Como no materialismo de La Mettrie, a posição defendida é monista: *O Homem é um ser físico, e todas as suas propriedades, mesmo as mais marcantes, como a inteligência ou a volição, devem poder ser explicadas fisicamente.* Mais aí se distingue do materialismo, na forma proposta por La Mettrie, na medida em que estabelece que só a descrição simbólica dos componentes humanos não é suficiente para explicar o caráter operatório, computacional, da inteligência.

### 2.3.4 Inteligência Artificial Clássica e o Paradigma Normativo

Possuindo sua origem dentro do empirismo lógico, do positivismo e do formalismo, a Inteligência Artificial Clássica se fundamenta sobre o modelo da Máquina de Turing e na noção de cálculo (ou computação) sobre as representações simbólicas. Estas premissas permitem um certo número de articulações estruturadas.

Elas estão de acordo com uma epistemologia particular onde permite-se que as hipóteses manifestem-se de maneira quase aleatória. Ninguém estabelece como essas hipóteses podem se manifestar, mas só sobrevivem as que mantenham uma relação de correspondência adequada com a realidade. O progresso é portanto certo e contínuo: alguém se encaminha lentamente, assintoticamente, mas certamente, em direção a um ideal de correspondência perfeita entre conhecimento e realidade.

Esta epistemologia está de acordo com a biologia. De acordo com a teoria neo-darwiniana e a genética das populações: as variações genéticas surgiram de maneira aleatória (mutações): a direção da evolução é dada pela seleção natural, que garante uma adaptação necessariamente cruzada (teorema fundamental de Fisher). De acordo com a biologia molecular: a organização dos seres vivos é especificada por um programa genético, analisável em termos de informação codificada dentro da seqüência de nucleotídeos do ADN. O traço saliente desta epistemologia e dessa biologia é seu caráter de formalismo abstrato.

É dentro desta lista não exaustiva de formas de abordar a questão relativa à Inteligência Artificial que figura, em lugar de destaque, a noção de uma *linguagem formal do pensamento*, desenvolvida pela psicologia computacional da escola do MIT.

O traço de formalismo abstrato característico da inteligência artificial clássica toma, por aliada, a linguística chomskyana que começa pela sintaxe formal, definição de estruturas gramaticais, para então passar à análise semântica, regras para tornar não ambíguos os enunciados, relegando a pragmática para uma terceira posição.

Este paradigma, que recebe a etiqueta honorável de "clássico", permitiu o desenvolvimento das ciências normais e as ciências cognitivas têm muito a extrair do mesmo. Entretanto, a despeito de sua relevância, a predominância de um formalismo abstrato, o torna pouco operacional dentro de domínios importantes.

Grande parte do trabalho criativo dentro das ciências cognitivas se faz de maneira local, sob uma forma não dedutível por uma teorização explícita que procure algum tipo de conjunto, parecendo mais como uma abundância de fatos desordenados. Essa realidade inerente aos processos cognitivos cria espaço para o desenvolvimento de um ou mais paradigmas alternativos. Sintaxe, semântica e pragmática, bases de qualquer linguagem, natural ou artificial, parecem não serem capazes de responder a todos os porquês da cognição..

### 2.3.5 Um Paradigma Alternativo: O Construtivismo

O construtivismo tem suas raízes filosóficas originadas no passado, dentro da tradição céptica, com Vico, Berkeley, Kant e, no século XX, com Whitehead e Merleau-Ponty. Só muito tempo depois dos anos 40 é que sua potencialidade começou a ser explorada, em parte, sem dúvida, pela ressurreição do conexionismo, por muito tempo relegado ao abandono pela inteligência artificial, mas atualmente em relevo. O Conexionismo não é um fator determinante do construtivismo, fornecendo, no entanto, ferramentas insubstituíveis para o seu desenvolvimento.

A decolagem do construtivismo se reporta a uma conjunção de eventos mais difusos. Dentre outros elementos, citamos os trabalhos biológicos; pesquisas de neurônios e sistemas imunológicos, onde os conceitos de auto-organização e, sobretudo, de *autopoíese*, derivaram suas realidades operacionais

*A verdadeira originalidade desta teoria reside dentro da definição do domínio cognitivo de uma entidade "autopoietica" que não é outra senão o conjunto de todas as relações com um ambiente dentro do qual a entidade considerada pode entrar sem perder a sua qualidade "autopoietica", o que é o mesmo que dizer, sem se desintegrar.*

Devemos notar que o ambiente não é um simples dado exterior ao qual o organismo deve se adaptar: É erro concebê-lo como um nicho ecológico não especificável independente da estratégia desenvolvida pelo organismo para o habitar.

Dizendo de outra forma, "nichos" e "organismos" são constituídos. Por conseguinte, ao qualificar o domínio de viabilidade do organismo como seu domínio cognitivo, deparamo-nos, sem dificuldades, com uma ontologia onde a separabilidade do objeto e do sujeito não é possível de ser efetuada.

De acordo com esse paradigma, as diferentes ciências cognitivas se ligam umas às outras, dentro do quadro de uma ontologia científica e progressiva, por etapas de emergência, que conduzem aos desempenhos linguísticos humanos. Em oposição a linguística clássica, este paradigma fornece uma autêntica definição teórica do que seja uma linguagem que nos permite, sem dificuldades, considerar sua natureza indefinidamente recursiva. A linguagem aparece, como inseparável, de organismos existentes 'corporalmente' dentro de uma forma de sociabilidade.

Finalmente, posto que nós tomamos como ponto de partida a teoria biológica da *autopoíese*, dentro dessa linguagem, as questões relativas aos fundamentos ontológicos e epistemológicos são recolocadas recursivamente. O construtivismo rende justiça, assim, a dimensão reflexiva das ciências cognitivas.

Dentro de uma situação de comunicação, cada um dos participantes (re-)constrói uma percepção, de forma significativa para si, a partir de um sinal relativamente gasto pelo tempo o qual não é, nem de longe, suficiente para especificar inteiramente esta percepção. Deriva-se, deste fato, que uma incerteza intrínseca caracteriza a comunicação, anterior mesmo a uma suposta identidade entre mensagens emitidas e recebidas, validada pela medição das perdas ou das distorções provenientes do processo de transferência. Uma compreensão científica da comunicação requer o concurso das ciências cognitivas que se constituem em uma maneira de descrever a construção dos estados cognitivos dos organismos em interação constitutiva com os outros organismos. Ainda em fase embrionária, a elaboração dessa nova teoria cognitiva construtivista das comunicações é indispensável para que as ciências da comunicação sejam preservadas de serem marginalizadas entre as tecnologias de telecomunicações e se tornem em mera crítica semiológica ou literária, longe portanto de seus objetivos.

Dentro dessa idéia, considera-se que a comunicação consiste no envio de uma substância ou de uma entidade quantificável contida "dentro" da mensagem e chamada, por exemplo, informação. É um equívoco acreditar que a informação, transportada pelas palavras, linguística ou pelos genes, biologia, possa ser causa ontológica suficiente dos fenômenos.

### 2.3.6 Conclusões

*"Desde que fique claro que tais e tais afirmações decorram de fatos bem estabelecidos e outras de conjecturas, não há nenhum mal em fazer conjecturas. Conjecturas são de grande importância por apontarem promissores campos de pesquisa". (Alan M. Turing, 1950)*

No início do século XX predominava o associacionismo. Era uma doutrina atomística que postulava uma teoria mecanicista baseada em elementos como sensações e idéias formadas por leis simples e fixas centradas na formação de novas associações. O comportamento era descrito como uma consequência do fluxo de associações. Cada associação produzia seus sucessores os quais adquiriam novas ligações com as sensações que chegavam do meio ambiente.

Na primeira década do século, através dos trabalhos da Escola de Wuzburg, esboçou-se uma reação a essa teoria. Rejeitando a noção de que o fluxo de sensações determinava os procedimentos, esta escola criou o conceito de tarefa como um fator necessário ao processo do pensamento.

Uma inovação digna de nota foi o uso da introspecção sistemática para estudar o processo do pensamento e o conteúdo da consciência. O resultado foi uma mistura de mecanicismo e fenomenalismo que originaram, por sua vez, os movimentos do Behaviorismo e da Gestalt.

O Behaviorismo reformulou o conceito relativo a tarefa da Psicologia que passaria a ser a de explicar as respostas dadas pelos organismos como uma função dos estímulos impingidos sobre eles. A medição é fundamental para o behaviorista que aceita, e mesmo reforça, as premissas mecanicistas de que *as conexões entre estímulos e respostas são formadas e mantidas como funções simples e determinadas do ambiente.*

A reação da Gestalt tomou uma direção oposta. Rejeitou a natureza mecanicista do Associacionismo mas manteve o valor da observação dos fenômenos. De alguma forma, manteve o fundamento filosófico da Escola de Wuzburg de que pensamento é mais do que uma associação - *o pensamento tem um direcionamento que é dado pela tarefa ou pelo conjunto formado pelo indivíduo.*

O Behaviorismo com sua tese do *Estímulo x Resposta*, fez com que as teorias em Psicologia se restringissem às decorrentes do acúmulo de dados experimentais, evitando-se o tratamento *Top-Down* tão comum em ciência, onde se partem de teorizações, daí realizando-se os experimentos que atestem ou neguem as hipóteses formuladas. Temos a Física Experimental e a Física Teórica. Esse desmembramento de determinada ciência é comum. Em Psicologia, devido a preocupação behaviorista em ocupar um espaço frente a céptica comunidade científica, sempre se deu pouca ênfase ao lado teórico o que, evidentemente, limitou o seu avanço.

Diversas pesquisas têm acrescentado mais dúvidas do que respostas ao campo nebuloso do psiquismo humano. Desde os experimentos clássicos do psicólogo suíço Jean Piaget que se assumia, como premissa, que as crianças desenvolviam, primeiramente, conceitos relativos a espaço e só posteriormente aplicavam palavras a estes conceitos. C. Levinson e Melissa Bowerman do grupo de pesquisa em Antropologia Cognitiva do Instituto Max Planck sugeriram que a conceptualização espacial não seria universal. Certas linguagens australianas, por exemplo, não possuem expressões para termos do tipo 'diante de' ou 'atrás'. Em vez disso fazem referências absolutas do tipo 'ao norte de'; 'ao sul de'. Este sistema apresenta implicações interessantes como a de que a cena seria memorizada com as suas direções cardinais. Bowerman, estudando crianças koreanas de 18 meses afirma que, por vezes, ocorre a inversão da ordem estabelecida por Piaget. Estas investigações apontam para o fato de que o próprio desenvolvimento intelectual possa ser condicionado pelo ambiente cultural.

A ciência parece ser essencialmente neutra. Ela nada mais faz do que descrever as coisas como elas são. Isto é o mesmo que dizer que a ciência não tem nenhuma responsabilidade social o que é a atitude largamente dominante hoje em dia. Sob essa ótica, o paradigma construtivista oferece uma perspectiva radicalmente diferente. Segundo esta nova ótica, o sujeito do conhecimento participa na construção de um mundo que ele ou ela encaminha a existir.

Este princípio de realidade não determina um mundo somente, mas uma pluralidade de mundos possíveis, conforme a incrível diversidade biológica que multiplica as viabilidades. Uma questão é a de saber qual desses mundos realizaremos dentro do espaço e do tempo de que dispomos. Ao aplicar reflexivamente esta epistemologia às ciências cognitivas elas mesmas, como o construtivismo, verificamos a responsabilidade do cientista de trabalhar engajado dentro de um reconhecimento explícito de seu papel de definição do mundo que ele busca descrever.

As Ciências Cognitivas, numa visão mais holística do problema epistemológico vêm dotando a psicologia de teorias dentre as quais as relativas à inteligência artificial. Originalmente foram desenvolvidas em torno de ciências com tendências *duras*, extremamente rígidas em suas premissas, como as neurociências, a psicolinguística da criança, a psicologia da percepção e a inteligência artificial. Tais ciências acabaram por estabelecer mais muros intelectuais e sociais do que os que conseguiram derrubar. Mas isto não significa que esta preponderância em colocar obstáculos e não removê-los vá perdurar. A abordagem reducionista da cognição se suporta em uma lógica falaciosa: "*Se alguém pensa com a testa é duvidoso que alguém não pense com outra coisa que não a testa*".

A introdução do contexto dentro da compreensão da cognição são a grande força e a grande fraqueza das ciências cognitivas posto que, assim, elas se aproximam das ciências sociais, afastando-se das ciências da vida. Isto pode significar não a emergência de uma nova perspectiva; mas a própria falibilidade de um modelo; do que são e do que deveriam ser as ciências cognitivas. Se levamos em conta o contexto somos automaticamente induzidos à uma abordagem ecológica da cognição. Um tal compromisso se apoia na consciência que temos de que é essencial explorar os comportamentos cognitivos dentro das situações reais, e não mais em ambientes simulados, micro mundos artificiais ou espaços conscientemente empobrecidos.

Sob o ponto de vista do engenheiro, interessado, acima de tudo, na utilização prática das máquinas construídas para realizar tal ou qual tarefa específica, inteligência artificial é, sem dúvida, um sucesso. Quando, no entanto, tentamos construí-las para a compreensão do funcionamento cognitivo dos organismos naturais, os resultados obtidos são, ainda, desanimadores. A incapacidade radical dos computadores existentes de funcionarem dentro de uma situação "cotidiana" ilustra o problema da definição do contexto dada à impossibilidade de se prever explicitamente todos os casos possíveis.

O fato de que um procedimento de engenharia tenha sucesso não significa que disso decorra que os seres humanos funcionem dessa forma e ainda menos que isto seja como eles deveriam funcionar. Reciprocamente, quando se pensa em conceber novas tecnologias, não é, necessariamente, uma boa escolha, inspirar-se no modo de operar dos seres humanos.

Dois extremos se apresentam quando nos perguntamos: Quais são as relações sociais que vão se instaurar com essa nova tecnologia?

- ☛ Se os computadores forem desenvolvidos com o objetivo de substituir os seres humanos (robótica, sistemas especialistas) e/ou de restringir os seres humanos a funcionar segundo os esquemas (racionais) dos computadores? Paradoxalmente, esta tendência pode se ver reforçada se fixarmos impensadamente os objetivos da inteligência artificial como o de permitir a simulação do comportamento humano.
- ☛ A pesquisa desenvolvida visa a construção de máquinas que vão coexistir com os seres humanos em um mundo, desta forma, enriquecido. Um ponto sensível e de grande atualidade é, sob este aspecto, o advento das máquinas conexionistas. De um lado elas podem ser submetidas a um treinamento supervisionado de forma a obter relações pré-estabelecidas entre entradas e saídas, no melhor estilo behaviorista do condicionamento operante. A inconveniência é análoga à relação mestre-escravo: o mestre submete a si mesmo a necessidade de manter aquela relação com toda a rigidez que ela implica. A outra possibilidade consiste em se utilizar de forma positiva o fato de que as máquinas conexionistas podem ter seus componentes não programados, não especificados previamente. Dentro dessas condições, a relação homem máquina pode se desenvolver de maneira mais flexível: de qualquer maneira, será respeitando a autonomia da máquina que o homem poderá se tornar mais livre e mais criativo.

Mais importante do que se questionar da possibilidade ou não de se construir máquinas pensantes nos parece ser a discussão, a exemplo do que vem ocorrendo com a engenharia genética, da ética associada a construção de tais máquinas. Qual o status que devemos atribuir a computadores capazes de agir inteligentemente, de sentir, de ter prazer?

A melhor definição do que seja inteligência talvez seja aquela que afirma que *inteligência é tudo aquilo que um computador ainda não consegue realizar*. Esta forma de se colocar o problema nos parece cômoda e alienada. Se defendemos o construtivismo acreditamos que somos responsáveis por aquilo que construímos. A emergência destas máquinas conscientes, para nós, é mera questão de tempo e, quanto mais cedo começarmos a discutir *o que fazer com elas*, melhor. Um código de ética que norteie os que trabalham em inteligência artificial é uma necessidade imediata que precisa ser atendida.

## 2.4 Máquinas autopoieticas

A palavra 'biologia' foi inventada por Jean Baptiste Lamarck, cuja influência sobre Charles Darwin culminou na Teoria da Evolução. A teoria de Darwin, acrescida pela genética moderna levou, nas décadas de 30 e 40 ao que se denominou por teoria sintética, ou neo-darwinismo. Dentro desse paradigma propunha-se que a velocidade e a direção da evolução eram quase que completamente determinados pela seleção natural e que mutações desempenhavam um papel pequeno e subsidiário.

A situação, hoje, da biologia, lembra o estado da física em fins do século XIX quando os físicos acreditavam que o mistério do universo estaria resolvido. As equações de Newton, diziam, eram a base sobre a qual seria possível fornecer todas as explicações para os fenômenos observados. Laplace dizia que *"Uma inteligência, conhecendo todas as forças atuantes em um dado instante de tempo e as posições naquele instante de todas as coisas, seria capaz de abranger em uma forma simples o movimento desde os menores átomos até os maiores corpos celestes. Para ela nada seria incerto, o futuro e o passado estariam diante de seus olhos"*. Lorde Kelvin falava em um discurso que: *"Não existe nada de novo para ser descoberto na física. tudo o que resta para ser feito consiste em melhorar a precisão de nossas medições"*.

Dawkins (1988), em nosso século, advoga uma tese similar, a de que ainda que nossa existência possa ser considerada como o maior de todos os mistérios, este mistério já foi resolvido. Darwin e Wallace já teriam encontrado essa resposta cabendo aos atuais pesquisadores acrescentar algumas notas de rodapé ao darwinismo.

A experiência realizada por Piaget (1973), com caramujos lacustres em vários lagos suíços, transferindo-os de um lago para outro, conclui que a morfologia das conchas era adaptativa e herdável, sendo alterada por fatores ambientais como a profundidade e as condições da água. A mudança do formato da concha ocorria por meio de adaptações sensório-motoras feitas pelo caramujo ao movimentar seus músculos de modo a resistir à agitação da água, adaptações essas que, de algum modo, causavam mudanças no genoma que eram geneticamente transmissíveis.

Esta experiência recoloca, de certa forma, a discussão entre lamarckismo e darwinismo. Para Lamarck as características adaptativamente desenvolvidas em resposta ao meio ambiente são biologicamente transmissíveis às gerações futuras. O lamarckismo admite, em princípio, a evolução do conhecimento. De acordo com o neo-darwinismo não existe forma alguma pela qual o meio ambiente possa efetuar mudanças biologicamente adaptativas.

A biologia molecular ortodoxa considera o desenvolvimento do ovo fertilizado como um processo mais ou menos automático, no qual as mensagens do ADN são traduzidas em proteínas.

Neste item descrevemos os sistemas vivos como sendo, ao mesmo tempo, unidades autônomas e partes de um todo, sendo deste, indissociáveis. Ao descrevê-los como unidades, estudaremos seus processos de acoplamento com outras unidades e as implicações gnoseológicas<sup>3</sup> dentro do domínio de todas as deformações que tais unidades autopoieticas podem experimentar sem perder sua identidade. *"Primeiramente há a unidade das coisas, pela qual cada coisa está de acordo consigo mesma e é coerente consigo mesma. Em segundo lugar há a unidade, pela qual uma criatura está unida às outras, e todas as partes do mundo constituem um mundo só"* (Mirândola, 1550). Determinaremos ainda as condições para se construir uma máquina artificial autopoietica.

#### 2.4.1 Auto Organização e Complexidade

*"O átomo é organização; a molécula é organização; o astro é organização; a vida é organização. Mas ignoramos totalmente o sentido desse termo: organização"* Edgar Morin (1977)

Dentro de uma visão mecanicista do mundo, os seres vivos são considerados como sistemas complexos onde dezenas de genes regulam o sistema dentro de uma célula e bilhões de neurônios formam a estrutura mais complexa conhecida, o cérebro humano. Já no princípio da década, pelos anos 20, que se associava o termo 'vida' ao conceito de organização. Von Bertalanffy (1968) intitulou como Teoria Geral dos Sistemas à procura dos princípios unificadores capazes de relacionar as diferentes teorias existentes. *"Um conjunto de elementos de tal forma relacionado, pode causar uma mudança de estado, que qualquer elemento provoca mudança de estado nos demais"*.

Piaget cita a teoria de Waddington de que a assimilação epigenética atribui significado evolucionário, não só ao genótipo e ao meio ambiente, mas também ao fenótipo. Waddington assinala que qualquer genótipo é suficientemente flexível em seu potencial de desenvolvimento para permitir um certo tipo de fenótipo morfológica e comportamentalmente diferente. Qual deles se desenvolverá de fato, depende das relações recíprocas entre o organismo e o meio ambiente.

Kimura propôs, em 1968, a teoria neutra, em que defende que a grande maioria das mudanças evolutivas ao nível molecular são causadas não por seleção natural atuando sob mutantes vantajosos, mas por fixação ao acaso de mutantes seletivamente neutros ou muito aproximadamente neutros. Suas conclusões, importantes para os modelos computacionais que imitam as estratégias adotadas pelos seres vivos para solução de problemas, ainda não foram incorporadas aos algoritmos.

*"O desgaste de uma máquina viva, analogamente a uma máquina artificial é inevitável, logo que constituída se desgasta e degenera, mas somente no primeiro caso há a possibilidade de aumentar sua complexidade e funcionar através da desordem interna chamada de ruído"* (Morin, 1975). Estruturas capazes de funcionar com esse tipo de lógica cibernética são denominadas de 'sistemas auto-organizadores' (Di Biase, 1980).

<sup>3</sup>gnoseológicas vem de gnose (conhecimento que se adquire pela experiência)

A Cibernética é uma linha interdisciplinar de estudo que aborda os problemas de como os sistemas se regulam, se reproduzem, aprendem e evoluem. O ponto alto desta disciplina é a explicação relativa a auto-organização. "A vida é essencialmente auto-regulação e os modelos cibernéticos são, até agora, os únicos que projetam alguma luz sobre a natureza dos mecanismos auto-reguladores". (Piaget, 1973)

Piaget (1973), chamou de *Interacionismo Biológico e Epistemológico* a uma idéia intermediária entre o lamarckismo e o darwinismo que leva em conta tanto as produções internas ao próprio organismo como as influências do meio, mas subordinando estes a considerações de níveis de intensidade, de duração, etc. que expressariam a resistência característica dos mecanismos internos às influências do exterior. Para Piaget os sistemas biológicos e cognitivos são totalidades internamente reguladas interagindo dialeticamente com o meio ambiente.

Existiriam duas formas de adaptação: a *adaptação à sobrevivência* que conduz à evolução variacional que é dependente do acaso e seleção natural e a *adaptação-adequação* ao meio ambiente. O problema central se resume em estabelecer os mecanismos pelos quais o comportamento interviria casualmente na formação dos caracteres morfológicos. A partir da concepção holista de Paul Weiss (1973) e da idéia de equilíbrio das estruturas cognitivas a qual apresenta analogia perfeita com a teoria da auto-organização de Von Foerster (1960) e com a epigênese funcional do neurologista Jean Pierre Changeux (1970), se chega a algo que pode ser resumido como:

- ☛ O sistema epigenético é constituído por patamares hierárquicos, percorridos por um fluxo energético ou informacional contínuo, de tal forma que cada nível de organização participa de uma cadeia que se abre para os níveis que lhe são subjacentes..
- ☛ A existência dessa bioarquitetura em estágios proporciona em todos os seres vivos a ocorrência de uma elevada *redundância estrutural*; isto é, os componentes do conjunto se encontram repetidos um grande número de vezes, e a ocorrência de uma elevada *redundância funcional*; isto é, a capacidade de uma função lógica ser executada em vários níveis do conjunto que podem controlar-se mutuamente. Este alto grau de redundância funcional e estrutural permite ao organismo alcançar um estado de elevada confiabilidade, ou seja, a capacidade de funcionar utilizando unidades constitutivas degradáveis que, apesar do ruído introduzido no sistema, não ocasionam aumento da desordem podendo, no conjunto, ser até mesmo regeneradoras e enriquecedoras. Tais sistemas são denominados *auto-organizadores*.
- ☛ Qualquer alteração introduzida no sistema (organismo) por um novo comportamento ocasionará desequilíbrios do tipo alfa (intra), beta (inter) ou gama (trans), na rede cibernética do sistema, dependendo do patamar de organização atingido.

☛ Se o desequilíbrio atingir os patamares mais profundos, sensibilizando os genes reguladores ou as regulações do conjunto do genoma, não por meio de uma mensagem codificada indicando o que se deve fazer, mas somente assinalando que alguma coisa não funciona normalmente (Piaget, 1973), a reação do sistema de controle (genoma) se manifestará por meio de "ensaios", o que exclui um acaso completo, delineando quais as variações semi-aleatórias que são compatíveis com a estrutura do sistema.

Um modelo computacional do ser humano que pretenda seguir as idéias de Piaget deve contemplar essas considerações.

### 2.4.2 Complexidade e autopoiesis

O que é que nós, seres humanos, temos em comum com macacos, cachorros, aviões e computadores? A resposta a essa pergunta não é difícil. Todas essas entidades exibem complexidade. Falta-nos, apenas, definir o que entendemos por complexidade. Uma definição que diferencie um elefante de uma montanha que, por mais alta que seja, não parece ter sido projetada com um propósito.

#### Definição 5 Complexidade

*Entidades complexas exibem alguma qualidade, especificável a priori, cuja probabilidade de ter sido adquirida aleatoriamente é extremamente pequena (Dawkins, 1988, p. 9)<sup>4</sup>*

Quando uma montanha permanece aonde está por causa da ação da gravidade nenhum trabalho é exercido para mantê-la no estado de equilíbrio com o meio circuncidante. Seres vivos e máquinas artificiais precisam trabalhar ativamente contra este equilíbrio que, para eles, significa a própria desintegração. Isso não quer dizer que essa categoria de entidades desobedeça às leis da física.

O corpo é algo complexo com muitas partes constituintes e, para se entender o seu funcionamento, é necessário que se aplique as leis da física a essas partes. O comportamento do corpo como um todo seria o resultado da interação entre essas partes<sup>5</sup>. Em sistemas complexos, como querem os neo-reducionistas, é possível se sustentar, sem contradições, as afirmações de que:

- ☛ existem mecanismos físico-químicos capazes de gerar a vida e
- ☛ a vida é mais complexa do que qualquer desses mecanismos sendo irreduzível em relação a eles.

Para Maturana e Varela (1972), entre as máquinas, existem aquelas que mantêm algumas de suas variáveis constantes dentro de uma gama limitada de valores.

<sup>4</sup>extremamente pequeno, evidentemente, não é uma boa definição em ciência. Contentemo-nos com ela por algum tempo.

<sup>5</sup>na parte em que discutiremos Teoria do Caos discutiremos essa afirmação em maior profundidade.

Na organização dessas máquinas, isto deve expressar-se de tal modo que o processo se defina como ocorrendo integralmente dentro dos limites que a mesma organização da máquina específica. Tais máquinas são homeostáticas<sup>6</sup>, e toda retroalimentação é interior a elas.

Foi o desenvolvimento dos mecanismos de controle artificiais que fez surgir o conceito de 'feed-back'; retroação<sup>7</sup>, do qual se fez uso na fisiologia junto com as idéias de reflexo e homeostase. Os reflexos preservam o organismo do fluxo do meio e a homeostase contrabalança as mudanças provocadas anteriormente que sejam suscetíveis de romper a estrutura desejável ou alterar as partes do organismo. O sistema vivo, em resposta ao meio, através de mecanismos, irá manter o meio interno, preservando o que se denomina por "estabilidade".

Seres vivos possuem essa capacidade. Se considerarmos temperatura, acidez, conteúdo de água ou potenciais elétricos descobrimos que esses seres mantêm algumas (ou todas) essas variáveis constantes em valores diferentes daqueles existentes no meio ambiente circuncidante. Morrer, nesse caso, significa que essas variáveis tenderão aos valores existentes no exterior, como se o organismo estivesse se fundindo ao meio.

Se alguém diz que existe uma máquina  $M$  que apresenta retroalimentação através das relações com o meio ambiente, tal que os efeitos de sua saída afetam a sua entrada, está falando, em realidade, de uma máquina maior  $M'$  que, em sua organização, conforme definida, inclui tanto o meio ambiente como o circuito de retroalimentação. Essa definição de Maturana estende a amplitude da máquina humana de forma a abranger todo o meio ambiente com o qual interage.

As máquinas autopoieticas são máquinas homeostáticas. A peculiaridade porém, dessas máquinas, não reside neste fato, mas sim na variável fundamental que mantêm constante. Uma máquina autopoietica é uma máquina organizada como um sistema de processos de produção de componentes concatenados de tal maneira que produzem componentes que:

- ☛ Geram os processos (relações) de produção que os produzem, através de suas contínuas interações e transformações, e;
- ☛ Constituem a máquina como uma unidade no espaço físico.

Por conseguinte, uma máquina autopoietica produz e especifica continuamente sua própria organização através das produções de seus próprios componentes, sob condições de contínua perturbação e compensação dessas perturbações. Podemos dizer então que: ***uma máquina autopoietica é um sistema homeostático que tem sua própria organização como uma variável que mantém constante.***

<sup>6</sup>homeostáticas, isto é, tendem a um equilíbrio nas suas interações com o meio ambiente na qual está inserida

<sup>7</sup>retroação, isto é, o que acontece na saída afeta a entrada da máquina

*Essa organização que pode ser especificada em termos de relações estáticas ou dinâmicas, relações entre elementos ou relações entre processos ou ambos. Entre esses casos possíveis, as máquinas autopoieticas são unidades cuja organização fica definida por uma concatenação particular de processos (relações) de produção de componentes, a concatenação autopoietica, e não pelos componentes eles mesmos ou suas relações estáticas. (Maturana, 1972)*

A concatenação autopoietica de processos em uma unidade física distingue as máquinas autopoieticas de todo outro tipo de unidade. Resumindo, diríamos que as máquinas autopoieticas:

- ☛ São autônomas; isto é, subordinam todas as suas trocas com o meio à conservação de sua própria organização, independentemente de quão profundas sejam as demais transformações que podem sofrer durante o processo. Outras máquinas, chamadas alopoieticas, produzem com seu funcionamento algo distinto delas mesmas. Estas máquinas não são autônomas, já que as trocas que experimentam estão necessariamente submetidas às produções de um produto distinto delas. Por exemplo, uma indústria que produz automóveis é alopoietica, na medida em que não é capaz de produzir as máquinas, as pessoas, as instalações e as relações que a fazem funcionar, ou melhor, sobreviver. Na verdade, o exemplo acima não está correto. Essa mesma indústria, sob outro ponto de vista, pode ser considerada autopoietica na medida em que as pessoas envolvidas lutarão para manter determinadas variáveis tais como 'lucratividade', 'nível de satisfação', 'nível de salário', etc., dentro de uma determinada gama de valores. Toda a organização é um tipo de entidade complexa na medida em que, em sua luta pela sobrevivência, necessita manter-se a si mesma.
- ☛ Possuem individualidade; isto é, por meio da manutenção como um invariante de sua organização, conservam ativamente uma identidade que não depende de suas interações com o observador. As máquinas alopoieticas têm uma identidade que depende do observador e que não se determina por sua operação visto que o produto desta é diferente de sua organização.
- ☛ São definidas como unidades por, e somente por, sua organização autopoietica: suas operações estabelecem seus próprios limites no processo de autopoiesis. Não ocorre assim com as máquinas alopoieticas, cujos limites são fixados pelo observador que especificando entradas e saídas, determina o que é pertinente ao seu funcionamento.
- ☛ Não têm entradas nem saídas. podendo ser perturbadas por efeitos externos, e experimentar trocas internas que compensam essas perturbações. Se essas se repetem, a máquina pode passar por séries reiteradas de trocas internas, que podem ou não serem as mesmas. Qualquer série de trocas internas que se produza está sempre subordinada à conservação da organização da máquina, sendo estas as condições que definem a teoria das máquinas autopoieticas.

Assim, toda relação entre tais trocas e a série de perturbações que podemos assinalar, pertencem ao domínio no qual se observa a máquina, e não a sua organização. Logo, ainda que uma máquina autopoietica possa ser tratada como uma máquina alopoietica, isto não revoga sua organização enquanto máquina autopoietica.

Uma organização pode permanecer constante sendo estática, ou mantendo constante seus componentes, ou mantendo constante suas relações entre componentes que, por outra parte, estão em contínuo fluxo ou troca. As máquinas autopoieticas são organizações deste último tipo. Elas mantêm constantes as relações que as definem como autopoieticas. A forma real pela qual uma organização assim pode concretizar-se efetivamente, varia segundo a natureza (as propriedades) dos elementos físicos que a materializam. Como consequência, podem haver muitos tipos distintos de máquinas autopoieticas; não obstante, todas elas serão tais que qualquer interferência física com seu funcionamento fora do campo de compensações dará por resultado sua desintegração: a perda de sua autopoiesis. Mais ainda, a forma real em que se materializa a organização autopoietica dessas máquinas determina que alterações podem sofrer sem desintegrar-se e, portanto, o domínio onde ocorrem as interações em que é possível observá-las. Estas características relativas a materialização das máquinas autopoieticas concretizadas em sistemas físicos não nos permite referir a casos particulares. Situam-se em nosso campo de manipulação e descrição e, por conseguinte, observáveis no contexto de um domínio de interações exterior a sua organização. Isto tem dois tipos de consequências fundamentais:

- ☞ Podemos descrever as máquinas autopoieticas e também manejá-las, como partes de um sistema mais amplo que determina os efeitos exteriores que podem perturbá-las. Pode-se considerar esses efeitos perturbadores como entradas, e considerar como saídas as trocas da máquina destinadas a neutralizar as perturbações. Isto equivale a tratar como alopoietica uma máquina autopoietica. De fato, se os efeitos exteriores que a perturbam são de certa regularidade, uma máquina autopoietica pode incorporar-se a um sistema mais amplo em qualidade de componente alopoietico, sem que sua organização autopoietica varie em nada.
- ☞ Podemos analisar uma máquina autopoietica por suas partes materiais e tratar como máquinas alopoieticas qualquer um de seus mecanismos parciais homeostáticos e reguladores, definindo suas entradas e saídas. Podemos fazer isso sem levar em consideração a organização autopoietica do sistema que integram posto que é sempre possível se definir diferentes contextos nos quais efetuaremos nossas observações. Estas sub-máquinas não são, necessariamente, componentes da máquina autopoietica que integram, por que estes componentes ficam definidos por relações que os satisfazem ao determinar a organização da máquina autopoietica.

O fato de que possamos dividir as máquinas autopoieticas em partes, não muda a natureza do campo de interações determinado por elas em sua qualidade de entidades concretas operantes no universo físico.

### 2.4.3 Projetar ou não para um propósito?

A teleologia e a teleonomia<sup>8</sup> são noções empregadas na descrição dos seres vivos e, ainda que se admita que não intervenham necessariamente em seu funcionamento como fatores causais, afirma-se que são indispensáveis para definir sua organização. Quanto a este ponto, pretende-se demonstrar que estas noções relativas a necessidade de um propósito ou objetivo no projeto dos seres vivos são desnecessárias para compreender a organização dos mesmos. (Maturana e Varela, 1972)

#### 2.4.3.1 Ausência de finalidade

Para Maturana e Varela (1972) comumente se assinala como a característica mais notável dos sistemas viventes o fato de possuírem uma organização orientada a um fim, ou o que é equivalente, dotada de um plano interno refletido e realizado por sua estrutura. A ontogênese<sup>9</sup> de um sistema vivo é a história da conservação de sua identidade através de sua autopoiesis continuada no espaço físico. Esta concepção dá lugar a várias considerações:

- ☞ Como o modo de manter sua identidade como um sistema autopoietico depende de sua modalidade particular de autopoiesis, distintos tipos de sistemas autopoieticos irão apresentar diferentes tipos de ontogênese.
- ☞ Como um sistema autopoietico não tem entradas nem saídas, todas as trocas que ele experimenta sem perder sua identidade e, portanto, mantendo as relações que os definem, são necessariamente determinadas por sua organização homeostática. Logo, a fenomenologia de um sistema, necessariamente, estará sempre em correspondência com as perturbações ou deformações que ele sofre sem perder sua identidade, e com o ambiente deformador em que está situado; não fosse assim o sistema se desintegraria.
- ☞ Como consequência da natureza homeostática da organização autopoietica, a forma em que a autopoiesis se realiza em qualquer unidade dada pode variar durante sua ontogênese, com a única restrição de que isto se deve realizar sem perda da identidade, o que é o mesmo que dizer, através de uma autopoiesis ininterrupta.
- ☞ Ainda que as trocas que um sistema autopoietico possa experimentar sem perder sua identidade, de forma a compensar as perturbações ou as deformações causadas por suas interações, sejam determinadas por sua organização, a ordem sucessiva de tais trocas é determinada pela ordem sucessiva dessas deformações.

Duas são as fontes de deformações de um sistema autopoietico percebidas por um observador:

<sup>8</sup>teleologia e teleonomia vem do grego téleios = final, causa.

<sup>9</sup>ontogênese: formação e desenvolvimento individual de um organismo do ovo à fase adulta

Uma é constituída pelo ambiente, com seus sucessos independentes no sentido de que não são determinados pela organização do sistema; e a outra é constituída pelo sistema mesmo, com seus estados resultantes da compensação de deformações, estados que podem ser, por uma parte, deformações que dão origem a novas trocas compensatórias. Na fenomenologia da organização autopoietica, estas duas fontes de perturbação são indiscerníveis, e em todo sistema autopoietico se entrelaçam para configurar uma única ontogênese. Logo, ainda que em um sistema autopoietico todos os caminhos sejam determinados internamente, para um observador sua ontogênese reflete, em parte, a história de suas interações com um ambiente independente. Em consequência, dois sistemas autopoieticos equivalentes noutros aspectos podem ter ontogêneses distintas.

- ☛ Um observador que contempla um sistema autopoietico como unidade em um contexto que também observa e descreve como meio circuncidante ao sistema pode distinguir nele perturbações de origens internas e de origens externas, ainda quando elas sejam intrinsecamente indiscerníveis para o sistema autopoietico mesmo. O observador pode utilizar esta distinção para fazer afirmações acerca da história do sistema autopoietico que observa, e usar essa história para descrever um ambiente que ele infere ser o domínio em que existe o sistema. Da correspondência observada entre a ontogênese do sistema e o ambiente que dita ontogênese descreve, ou o meio circuncidante em que a vê, não pode inferir uma representação constitutiva deste na organização do sistema autopoietico. A contínua correspondência entre a conduta e o ambiente, revelada durante a ontogênese, é o resultado da natureza homeostática da organização autopoietica e não da existência nela de nenhuma representação do ambiente, nem é necessário, no mínimo que seja, que o sistema autopoietico deva obter o desenvolvimento de tal representação para subsistir em um ambiente em contínua mudança. Falar de uma representação do ambiente, ou do meio circuncidante, na organização de um sistema vivo, pode ser útil como metáfora, mas é inadequado, porém, para revelar a organização de um sistema autopoietico.

☛ As trocas compensatórias que experimenta um sistema autopoietico, conservando sua identidade, podem ser de dois tipos segundo a forma em que se realiza sua autopoiesis: Trocas conservadores, ou assimilações, como diria Jean Piaget, as quais só implicam em compensações que não requerem trocas nas variáveis mantidas constantes através de seus processos homeostáticos componentes; e trocas inovadores, ou acomodações, que implicam trocas na qualidade dessas variáveis. No primeiro caso, as interações, internas ou externas, causadoras das deformações não conduzem a nenhuma variação na forma de realizar-se a autopoiesis, e o sistema permanece no mesmo ponto do espaço autopoietico. No segundo caso as interações conduzem a uma variação no modo de realizar-se a autopoiesis e, portanto, a um deslocamento do sistema no espaço autopoietico. Enquanto o primeiro caso implica numa ontogenia conservadora, o segundo implica numa ontogenia que é, além disso, um processo de especificação de uma autopoiesis particular cuja determinação necessariamente depende tanto das limitações organizativas do sistema como numa história de interações.

Por outra parte, se se considera a filogênese<sup>10</sup> como uma história de transformações adaptativas através de processos reprodutivos, tenderíamos a subordinar os objetivos da entidade aos da espécie, o que é falso. Existem organismos que inclusive podem se mostrar capazes de especificar antecipadamente algum objetivo, e que coordenam todas suas atividades para consegui-lo (Heteropoiésis). Esse elemento de aparente propósito ou possessão de um projeto ou programa, que tem sido chamado teleonomia sem implicar nenhuma conotação vitalista, se considera muitas vezes uma característica de definição necessária, se não suficiente, dos sistemas vivos.

Finalidade ou objetivo não são características típicas da organização de nenhuma máquina (alo ou autopoiética). Estas noções pertencem ao domínio das descrições e, quando se as aplica a uma máquina ou qualquer sistema exterior a nós, expressam que estamos considerando-o dentro de algum contexto mais amplo. Em geral, o observador dá algum uso à máquina, mental ou concreto, determinando assim o conjunto de circunstâncias em que esta opera, assim como o domínio de seus estados que ele considera suas saídas. O nexa entre estas saídas, as entradas correspondentes e a relação de umas e outras com o contexto em que as inclui o observador, constitui o que chamamos Objetivo ou Finalidade da máquina que está situado necessariamente, no domínio do observador, que é quem decide o contexto e estabelece os nexos. Analogamente, a noção de função surge quando o observador descreve os componentes de uma máquina ou de um sistema referindo-se a uma unidade mais ampla, que pode ser a máquina em sua totalidade ou parte dela, cujos estados se constituem no objetivo ao que hão de conduzir as trocas dos componentes.

Não importa aqui quão direto seja o nexa causal entre a troca de estado dos componentes e o estado do sistema como um todo a que dão origem com suas transformações; a conotação de 'um projeto' a que alude a noção de função, é estabelecida pelo observador e não pertence ao domínio da máquina mesma.

A organização de uma máquina, auto ou alopoiética, só estabelece relações entre componentes e leis que regem suas interações e transformações. Especifica, somente, as condições em que surgem os diversos estados da máquina, os quais aparecem como resultado necessário cada vez que se apresentam essas condições.

Logo, as noções de finalidade e função não têm nenhum valor explicativo no campo fenomenológico por que não intervêm como fatores causais na reformulação de fenômeno algum. A predição de um estado futuro em uma máquina consiste na rápida captação, pelo observador, de seus estados sucessivos. Qualquer referência a um estado prévio para explicar outro ulterior em termos funcionais ou finalistas, é um subterfúgio descritivo, baseado na observação mental simultânea de ambos. Qualquer máquina, parte de máquina ou processo de desenvolvimento previsível, pode ser descrito por um observador como dotado de plano, finalidade ou função.

---

<sup>10</sup> filogênese refere-se a espécie como um todo

Em consequência, se os sistemas vivos são máquinas autopoieticas, a teleonomia passa a ser somente um artifício para descrever os que não revelam característica alguma de sua organização, senão o consistente com o seu funcionamento no campo donde se os observa. Como máquinas autopoieticas, os sistemas vivos carecem, pois, de finalidade.

#### 2.4.3.2 Individualidade

Eliminada a noção de teleonomia como característica que define os sistemas vivos temos a organização da unidade como a questão central que deve ser respondida se quisermos compreender os sistemas vivos e as máquinas que pretendem simulá-los.

Um sistema vivo pode ser modelado tanto como um indivíduo como uma unidade de interações, em virtude de sua organização autopoietica, que determina que toda troca que nele se produza esteja subordinada a sua conservação, fixando-se assim os limites que determinam o que lhe pertence e o que não lhe pertence em sua materialização concreta.

Se, em um sistema vivo, não se completa, direta ou indiretamente, a subordinação de toda troca à conservação de sua organização autopoietica, tal sistema perderia esse aspecto de sua organização que o define como unidade e, portanto, se desintegraria. Portanto, como quer que se defina, é certo que, para toda unidade, a perda das características que a definem redundam em sua desintegração. O peculiar dos sistemas vivos não é sua possibilidade de desintegrar-se, senão o fato de que se desintegram sempre que perdem sua organização autopoietica. Consequência disto é que, em cada sistema vivo, toda troca deve produzir-se sem interferir com seu funcionamento como unidade, em uma história de trocas através da qual sua organização autopoietica permanece invariante. Logo, a ontogênese é uma expressão tanto da individualidade dos sistemas vivos como da forma com que essa individualidade se concretiza. Enquanto processo a ontogênese não representa, pois, o passo de um estado incompleto (embrionário) a outro mais completo ou definitivo (adulto), senão a manifestação do devenir de um sistema que é, em cada instante, a unidade em sua totalidade.

A noção de desenvolvimento, como a de finalidade, surge no contexto da observação, de modo que pertence a um domínio que não é o da organização autopoietica do sistema vivo. Analogamente, o comportamento que um observador pode presenciar em uma máquina autopoietica, é o reflexo da sucessão de trocas que esta experimenta enquanto mantém constantes as variáveis afetadas por perturbações e enquanto estabelece os valores em cuja vizinhança mantém em todo momento essas variáveis. Como a máquina autopoietica não tem entradas nem saídas, toda correlação que o observador pretende revelar entre os efeitos externos que a perturbam periodicamente e a transição de um estado a outro resultante dessas perturbações, pertence à história da máquina no contexto da observação, e não ao funcionamento de sua organização autopoietica.

### 2.4.3.3 Sistemas autopoieticos de maior ordem

Cada vez que o comportamento de uma ou mais unidades é tal que existe um domínio em que a conduta de cada uma é função da conduta das demais, se diz que elas estão acopladas nesse domínio.

O acoplamento surge como resultado das modificações mútuas que as unidades inter-atuantes sofrem, sem perder sua identidade, no transcurso dessas interações. Se durante a interação se perde a identidade das unidades inter-atuantes, pode resultar disso a geração de uma nova unidade, não se verificando porém o acoplamento. Em geral o acoplamento também pode conduzir à geração de uma nova unidade, em um domínio que pode ser distinto daquele em que as unidades componentes (acopladas) conservam sua identidade.

- ☛ Os Sistemas autopoieticos podem interagir entre si sem perder sua identidade, enquanto suas respectivas modalidades de autopoiesis constituam fontes de perturbações mútuas compensáveis. Mais ainda, devido a sua organização homeostática, os sistemas autopoieticos podem acoplar-se de maneira que suas respectivas autopoiesis se especifiquem durante o acoplamento dentro de margens de tolerância e variação determinados durante o acoplamento. O resultado é uma unidade em que o modo de acoplamento de seus componentes se altera durante sua história. Estas considerações também são válidas para o acoplamento de unidades autopoieticas e não-autopoieticas, com as correções óbvias quanto a conservação de sua identidade pelas segundas. Em geral, o acoplamento de sistemas autopoieticos com outras unidades, autopoieticas ou não, se realiza mediante sua autopoiesis. Se infere daí que é possível imaginar um processo de seleção para o acoplamento e que, por meio da evolução sob pressão seletiva para acoplar-se, pode desenvolver-se (evoluir) um sistema composto em que a autopoiesis individual de cada um de seus componentes autopoieticos está submetida a um ambiente determinado pela autopoiesis de todos os integrantes autopoieticos da unidade composta. Tal sistema composto será necessariamente definido como unidade pelas relações de acoplamento dos sistemas autopoieticos que o integram, em um espaço especificado pela natureza do acoplamento, e seguirá sendo uma unidade enquanto os sistemas componentes conservem a autopoiesis que lhes permite entrar nessas relações de acoplamento.
- ☛ Um sistema autopoietico pode chegar a ser componente de outro sistema, se algum aspecto de sua trajetória de trocas autopoieticas pode participar na realização desse outro sistema. Isto pode ocorrer no presente, por meio de um acoplamento que se valha dos recursos homeostáticos dos sistemas inter-atuantes; ou através da evolução, mediante o efeito recorrente de uma pressão seletiva constante sobre o processo de transformação de uma rede histórica reprodutiva, a qual dá por resultado uma subordinação das autopoiesis individuais componentes (por meio da troca histórica dessas modalidades) ao ambiente de perturbações mútuas especificado por elas.

- ☛ Se as autopoiesis das unidades integrantes de um sistema autopoietico composto configuram papéis alopoieticos que definem um espaço autopoietico mediante a produção de relações constitutivas, de especificidade e de ordem, o novo sistema passa a ser uma unidade autopoietica de segunda ordem.

A chave para compreender a fenomenologia biológica é entender a organização do indivíduo. Esta organização e suas origens são plenamente explicáveis com base em noções puramente mecanicistas, válidas para qualquer fenômeno no espaço físico. Uma vez estabelecida, a organização autopoietica determina, no domínio da fenomenologia mecanicista, um subdomínio fenomenológico independente: o domínio dos fenômenos biológicos.

O desenvolvimento da idéia darwiniana de evolução, com sua ênfase na espécie, a seleção natural e a aptidão, teve um impacto cultural que levou à explicação da diversidade dos sistemas vivos e das origens dessa diversidade. Teve transcendência sociológica, porque pareceu ser capaz de explicar a fenomenologia social em uma sociedade competitiva, e a uma justificação científica da subordinação do destino dos indivíduos aos valores que se supõem entranhados em noções tais como humanidade, estado ou sociedade.

A história social do homem mostra uma contínua busca de valores que expliquem, justifiquem, a existência humana, e um uso constante de noções transcendentais para justificar a discriminação social, a discriminação de gênero, a subordinação econômica e o submetimento político dos indivíduos, isolada ou coletivamente, ao desejo ou ao capricho de quem pretende representar os valores contidos nessas noções. Que importa o que se passa a um indivíduo, ou a uns quantos indivíduos, se seu sacrifício é em bem da humanidade?

É certo que o que evolui é a humanidade enquanto espécie homem. É certo que a competição conduz, inclusive no homem, ao processo de mudança evolutiva. É verdade que, sob as leis da seleção natural, sobrevive o mais apto para aquilo que se seleciona, e que os que não sobrevivem não contribuem para o destino histórico da espécie.

Parece que, se o papel do indivíduo era contribuir a perpetuar a espécie, tudo o que tinha que fazer era deixar que os fenômenos naturais seguissem o seu curso. A ciência, a biologia, apareciam justificando a noção de *qualquer coisa, pelo bem da humanidade*, fora qual fosse a intenção ou o propósito de quem quer que fosse que emunciasse isso.

Maturana e Varela (1972) demonstraram que estes argumentos não são válidos para justificar a subordinação do indivíduo à espécie, por que a fenomenologia biológica é determinada pela fenomenologia individual, e sem indivíduos não existe fenomenologia biológica alguma. A organização do indivíduo é autopoietica e nisto se resume toda sua importância. Seu modo de ser é definido por sua organização e sua organização é autopoietica.

Assim, a Biologia já não pode ser manipulada para justificar a qualidade dos indivíduos serem prescindíveis em benefício da espécie, da sociedade ou da humanidade, sob pretexto de que seu papel é perpetuá-la. Biologicamente, os indivíduos não são prescindíveis.

O próprio Darwin constatou a importância da diversidade. As hipóteses de Piaget estendem o darwinismo incorporando a este os sucessos mais marcantes advogados por Lamarck. Esquemas são também aprendidos e não só transmitidos geneticamente. A transmissão genética não é o único fator capaz de definir o futuro. O holismo de Paul Weiss e a cibernética permitiram a Piaget reformular, também, o paradigma biológico. Muito há que explorar no sentido apontado pelo mestre suíço mas não nos cabe aqui, infelizmente, aceitar o desafio e levar o construtivismo, também, aos arraiais da Biologia. Os conceitos que buscamos nos são, por hora, as bases que precisamos para dotar o bebê de Turing da ontogênese característica das entidades autopoieticas construtivistas que somos.

#### **2.4.4 Implicações Gnoseológicas**

O domínio de interações de uma unidade autopoietica é o domínio de todas as deformações que ela pode experimentar sem perder sua autopoiesis. Para cada unidade esse domínio fica determinado pelo modo particular de realizar sua autopoiesis e, em consequência, é necessariamente acoplado; isto é, existem interações (deformações) que ela não pode sofrer sem perder sua identidade. Um observador pode considerar a maneira como um sistema autopoietico compensa suas deformações, como descrição do agente deformante que vê atuar sobre o sistema; e a deformação sofrida por este pode ser considerada por ele como representação de agente deformante.

##### **Definição 6 Domínio Cognitivo**

O domínio de interações de um sistema autopoietico é limitado. Existem agentes deformantes que um observador pode ver, mas que porém o sistema autopoietico deformado não pode descrever, por que não pode compensá-los. Este domínio, o domínio de todas as interações em que um sistema autopoietico pode participar sem perder sua identidade, é dizer, o domínio de todas as trocas que pode sofrer ao compensar perturbações, é definido como seu domínio cognitivo.

Disto se depreende que o domínio cognitivo de um sistema autopoietico é equivalente a seu domínio de conduta e, na medida em que toda conduta pode ser observada, equivalente a seu domínio de descrições. O que é o mesmo que dizer que toda conduta é expressão de conhecimento (compensação de perturbações), e que todo conhecimento é conduta descritiva.

O domínio cognitivo está subordinada à forma individual de autopoiesis de indivíduo a qual define a ontogênese da sua cognição.

- ☛ Se o domínio cognitivo de um sistema autopoietico está determinado por seu modo particular de autopoiesis, e se todo conhecimento é conduta descritiva, depreende-se que todo conhecimento é, necessariamente, relativo ao domínio cognitivo daquele que conhece e que, portanto, está determinado por sua organização. Se a forma como se realiza a autopoiesis de um organismo altera a sua ontogênese, seu domínio cognitivo também se altera e seu repertório de conduta (conhecimentos) segue uma história de trocas determinada pela ontogênese sendo, portanto, não só um processo de especificação contínua da modalidade de autopoiesis de um organismo, senão que também de seu domínio cognitivo. Não é possível o conhecimento absoluto e a validação de todo conhecimento se dá, necessariamente, pela autopoiesis continuada.
- ☛ Os Sistemas autopoieticos podem interagir entre si em condições que dão por resultado o *acoplamento pela conduta*. Neste acoplamento, a conduta autopoietica de um organismo A passa a ser fonte de deformação para um organismo B; e a conduta compensatória do organismo B atua, por sua vez, como fonte de deformação do organismo A, cuja conduta compensatória atua, por sua parte, como fonte de deformação para B, e assim sucessivamente, em forma recursiva, até que se interrompa o acoplamento. Desta maneira, se desenvolve uma cadeia tal de interações elaboradas que, ainda que a conduta de cada organismo em cada interação seja determinada internamente por sua organização autopoietica, tal conduta é para o outro fonte de deformações compensáveis e, portanto, pode qualificar-se de significativa no contexto da conduta acoplada. Estas são *interações comunicativas*.

Se os organismos acoplados são capazes de uma conduta plástica e permanente da qual resultam modificados em interações, suas trocas, que surgiram no contexto de suas deformações acopladas, passam a constituir ontogêneses historicamente elaboradas que geram um campo consensual de conduta acoplada que se especifica (se faz consensual) durante o processo de sua geração.

### **Definição 7 Domínio Linguístico**

Define-se como domínio linguístico ao campo consensual onde dois organismos acoplados se orientam reciprocamente em sua conduta, a qual fica internamente determinada por meio de interações que se vão especificando durante suas ontogêneses acopladas. *O domínio linguístico*, como domínio consensual que resulta do acoplamento das ontogêneses de sistemas autopoieticos é, pois, intrinsecamente não-informativo, ainda quando um observador o descreva como se o fosse, desatendendo à determinação interna que o gera nos sistemas autopoieticos. Fenomenologicamente, o domínio linguístico e o da autopoiesis são domínios diferentes e, ainda que um gere os elementos do outro, não se interceptam.

- ☛ Um sistema autopoietico capaz de interagir com seus próprios estados, como pode fazer um organismo dotado de um sistema nervoso, e de desenvolver com outros sistemas um domínio consensual linguístico, no campo onde pode interagir com seus próprios estados, pode tratar seus próprios estados linguísticos como fontes de deformações e, assim, interagir linguisticamente em um domínio linguístico cerrado. Tal sistema possui duas propriedades notáveis, as de observador e auto-observador.

#### **Definição 8 Sistema observador**

Define-se como sistema observador aquele capaz de, através de interações recorrentes com seus próprios estados linguísticos, poder permanecer sempre em situação de interagir com as representações de suas interações.

#### **Definição 9 Domínio de observação**

Define-se como domínio de observação ao domínio das interações recorrentes com seus próprios estados. É, em princípio, infinito, porque não existe nenhum momento em que o sistema não esteja em situação de efetuar tal interação, a menos que perca sua autopoiesis.

É do domínio linguístico, onde a história de interações do organismo determina o contexto em que tem lugar cada nova interação linguística que se extrai a relevância circunstancial atribuível a cada estado linguístico. O valor semântico de cada estado pode ser assim atribuído podendo, em princípio, serem gerados infinitos estados linguísticos semanticamente diferentes.

#### **Definição 10 Domínio de Auto-observação**

Um sistema vivo capaz de ser um observador pode interagir com seus próprios estados descritivos, que são descrições linguísticas dele mesmo. Se o faz em forma recursiva, gera um domínio de auto-descrições linguísticas no qual é um observador de si mesmo e um observador de sua observação e de sua auto-observação, de uma maneira interminável. Este domínio o chamamos domínio de auto-observação, e a conduta auto-consciente é a conduta no domínio da auto-observação.

#### **Definição 11 Dominio de conduta**

Toda interação em um sistema autopoietico tem lugar por meio de interações físicas, porém como tal sistema está definido em termos de relações, todas as suas interações necessariamente dão por resultado trocas nestas relações. Assim, quaisquer que sejam as circunstâncias de uma interação, esta é sempre representada na mesma categoria fenomenológica: trocas nas relações de produções que definem e especificam o sistema autopoietico que, se são compensáveis, permitem a autopoiesis continuada. Como resultado disto domínios de condutas que são diferentes devido ao fato de que determinam unidades distintas, podem ser representados na mesma categoria fenomenológica de trocas nas relações internas de um sistema autopoietico.

As implicações desse conceito no domínio cognitivo são:

- Um observador mapeia todas as suas interações como observador no mesmo domínio de relações ainda quando essas interações pertencem a distintas fenomenologias porque ele participa nelas como um caso diferente de unidade (com propriedades diferentes). Mediante este mapeamento, um observador pode estabelecer relações descritivas entre suas descrições de fenomenologias independentes.

Não obstante, estas relações só existem no domínio linguístico e constituem conexões somente descritivas, não operativas, entre fenomenologias independentes: sua representação depende da presença do observador.

- O observador, enquanto tal, necessariamente permanece sempre em um domínio descritivo, vale dizer, em um domínio cognitivo relativo. Não é possível nenhuma descrição de uma realidade absoluta. Tal descrição requereria uma interação com o absoluto por descrever, porém a representação que surgirá de semelhante interação necessariamente seria determinada pela organização autopoietica do observador, e não pelo agente deformante; logo, a realidade cognitiva assim gerada dependeria inevitavelmente do conhecedor, e seria relativa a ele.

A autopoiesis resolve o problema da fenomenologia biológica em geral, definindo-a. Os seres vivos, enquanto unidades autopoieticas no espaço físico, definem seu mundo fenomenológico em relação com sua autopoiesis em tal espaço, e alguns operam nesse mundo em forma recorrente, através de suas descrições, sendo-lhes impossível sair deste domínio descritivo relativo mediante descrições. Mais ainda, neste domínio de descrições, estes sistemas autopoieticos assinalam que o espaço físico é singular porque é onde, mediante sua conduta, podem descrevê-lo como o espaço onde se dá essa fenomenologia. Isto exige um enfoque cognitivo inteiramente novo: existe um espaço no qual têm lugar distintas fenomenologias: uma delas é a fenomenologia autopoietica; a autopoiesis gera um domínio fenomenológico; este é o domínio cognitivo.

## CAPÍTULO TERCEIRO

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - PARTE II

### TEORIAS DO DESENVOLVIMENTO

Entendemos desenvolvimento como o resultado de um processo de equilibração de estruturas. O ser humano, na forma fragmentada pela qual é tratado pela ciência, tem suas dimensões física, emocional ou psicológica e cognitiva tratadas de forma independente, ainda que se reconheça a interdependência entre as mesmas. A dimensão espiritual, pelo ranço de positivismo que insiste, ainda, em procurar uma verdade que não existe fora dos domínios cognitivos de cada individualidade e que continua em colocar como 'tabu' a mistura do profano com o sagrado impede que uma abordagem completa seja efetuada e que uma busca de uma integração holística seja perseguida.

Sistemas físicos e químicos tendem a um equilíbrio (Piaget, 1971). Os sistemas termodinâmicos, como por exemplo dois objetos com temperaturas diferentes se tocando, trocam quantidades de calor até atingir o ponto de equilíbrio, em que ambos tem a mesma temperatura. Nos circuitos elétricos, os elétrons migram dos pontos de menor tensão para os de maior tensão buscando equilibrar a carga elétrica dos condutores. Uma reação química pode desagregar moléculas e agregá-las em outras formas, que serão, por isso mesmo, mais estáveis do que as anteriores, logo, mais equilibradas. Máquinas alopoiéticas, em geral, tendem a entrar em equilíbrio com o meio circundante.

Também os sistemas biológicos trabalham com a noção de equilíbrio mas, aí, o objetivo é o de manter constante a sua organização ou, em outras palavras, preservar a sua autopoiesis. Fala-se muito hoje em dia em equilíbrio do eco-sistema, o qual consiste em manter certas espécies de animais e plantas, além de outros recursos naturais para evitar a proliferação de pragas, ou a extinção de espécies úteis. Um eco-sistema é uma máquina autopoietica de maior ordem que segue os princípios definidos no capítulo anterior.

Ao contrário dos sistemas físicos e químicos, onde o equilíbrio pode ser alcançado e, a partir daí, estagnar, os seres vivos buscam um equilíbrio sempre maior. Um dos pontos chave da teoria de Piaget é o conceito de *equilíbrio majorante*. Isto significa que não há, no caso de máquinas autopoieticas homeostáticas, um equilíbrio perfeito, mas uma tendência continua na direção do mesmo. Esta busca não é necessariamente assintótica, justamente porque o ponto de equilíbrio pode se deslocar de acordo com as circunstâncias. Daí, falar-se sobre *patamares de equilíbrio*, que são estágios nos quais o equilíbrio é parcialmente alcançado.

Pela necessidade de estabelecimento de relações evolutivas, o organismo sente uma carência que, seguindo a metáfora biológica de Piaget, chamaremos de 'fome'. Estas fomes mobilizam as energias do organismo em direção a satisfação das necessidades estabelecidas pelas mesmas. Temos 'fome de estímulos' (strokes), de estruturar o tempo; de acontecimentos novos seguidos; de sexo; de liderança; de conhecimentos; etc.

A tentativa de equilibrar essas fomes gera perturbações internas e externas que se transformam rapidamente em situações de desequilíbrio posto que provocam um deslocamento do ponto ideal para outra região, levando o organismo a evoluir dentro de seu espaço autopoietico. O gráfico da equilibração poderia então ser imaginado da seguinte forma:

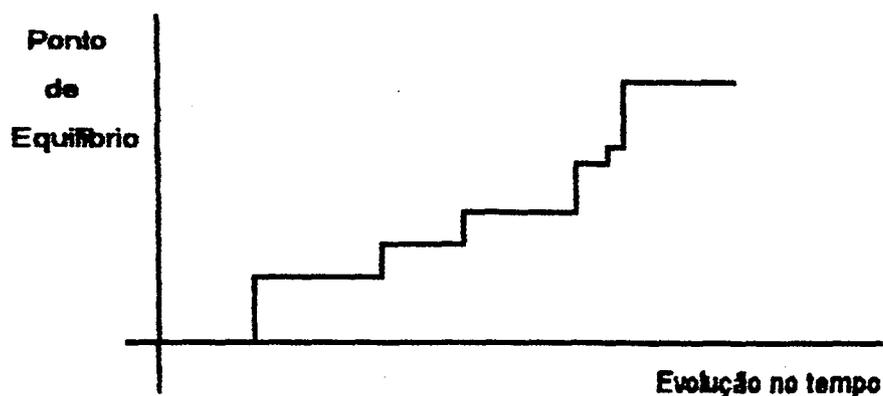


Figura 3.1 Evolução no tempo do ponto de equilíbrio

Quando falamos em fases de desenvolvimento devemos ter em mente que estes são processos gradativos que são construídos pelos indivíduos. Temos um desenvolvimento físico, um desenvolvimento afetivo, um desenvolvimento cognitivo e um desenvolvimento espiritual que estão intimamente relacionados.

A ciência, definida e estudada por Piaget, foi a Epistemologia Genética que trata da gênese (mecanismos formadores), da natureza e da evolução dos processos cognitivos. A extensão da Epistemologia Genética para a Sociologia é evidente. O Homem é como uma fotografia da cultura que o formou. O estudo do Homem é, de certa forma, uma própria análise da cultura em que desenvolveu seus conhecimentos. Poderíamos estender a célebre frase de Piaget de que *a criança explica o Homem para o Homem explica a evolução*. Dentro do construtivismo essas afirmativas devem ser entendidas num contexto de mão dupla. O organismo influencia e é influenciado pelo meio; um não existe sem o outro,

A Epistemologia Genética é, portanto, holista. Para Piaget, a cada vez que se tenta isolar uma parte do todo estabelece-se mais e mais correlações dessa parte com o todo (ainda que sejam qualificadores do tipo não tem penas, não voa, etc.). Este argumento já havia sido estabelecido por Hegel.

Ao longo da discussão que se segue procedemos a uma análise. Dividimos o problema em partes na esperança de que, compreendidas essas partes seremos capazes de entender o todo. Essa pretensão, evidentemente, é falha. O todo é sempre maior que as partes.

### 3.1 Dimensão Física

Bebês pesam, ao nascer, entre 3 e 3,5 Kg e medem cerca de 50 cm sendo os de sexo masculino geralmente maiores e mais pesados que os femininos. Ao nascer, a criança é dotada de praticamente todos os sentidos e está biologicamente apta para experimentar a maioria das sensações. Pode ver, ouvir, cheirar, tem sensibilidade a dor, ao tato e às mudanças de posição. O gosto é logo desenvolvido se é que já não esteja presente no nascimento.

Quanto ao comportamento a criança é capaz de chorar ante qualquer tipo de desconforto, tossir, espirrar, vomitar, sugar, virar para o lado quando sua face é estimulada. Como comportamentos reflexos básicos citamos: o de sucção; o de preensão; o andar quando se segura o bebê numa posição ereta e o nadar. Estes dois últimos desaparecem, enquanto comportamento reflexo, com 8 semanas e 6 meses, respectivamente, voltando a aparecer mais tarde como comportamento voluntário.

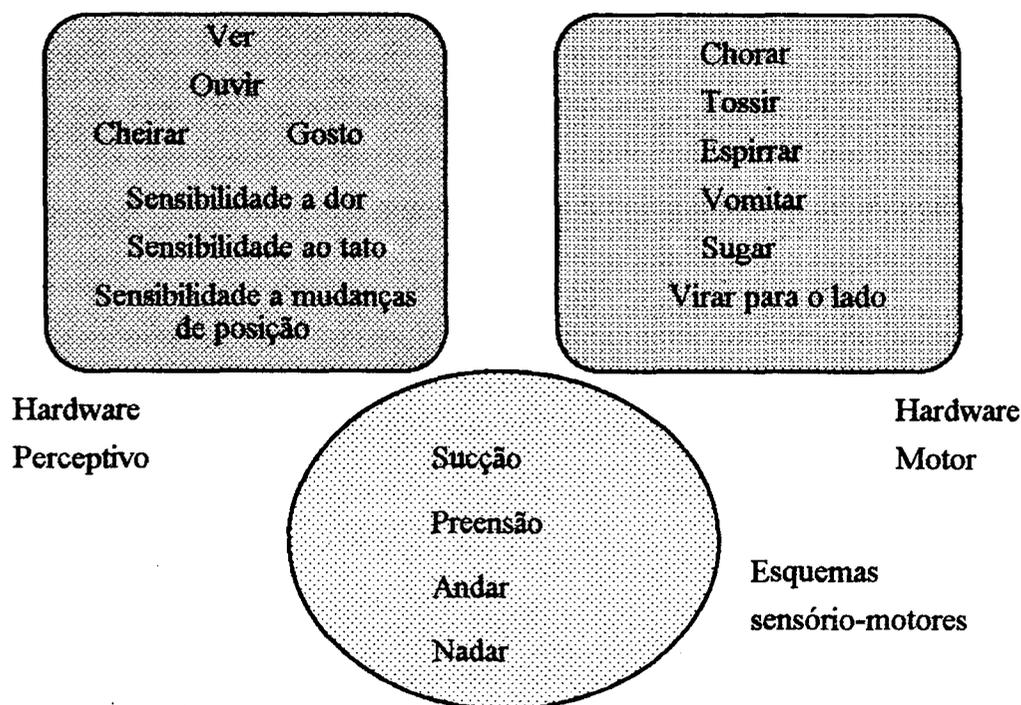


Figura 3.2 A máquina humana ao nascer

Uma das funções básicas do desenvolvimento na primeira infância é o conhecimento do próprio corpo. A medida que o bebê se explora está formando um esquema de si próprio, um eu corporal. O desenvolvimento motor depende da maturação de certos tecidos nervosos, aumento em tamanho e complexidade do sistema nervoso central, crescimento de ossos e músculos. Por outro lado esse próprio desenvolvimento depende dos estímulos recebidos pela criança do meio ambiente em que exerce sua autopoiese.

Entre os 2 e 3 anos o desenvolvimento físico da criança é caracterizado por uma intensa explosão muscular e movimentação. Dos primeiros passos inseguros, do andar na ponta dos pés, braços erguidos em busca de um equilíbrio passa para a corrida livre no final do terceiro ano. As segmentações começam a ocorrer na organização psicomotora. Pode sentar sobre um banco e balançar as pernas. Mas ainda se observa um excesso de 'sincinesias'<sup>1</sup> das quais só se libertará lá pelo sétimo ano de idade. Erikson chama esta fase de muscular-anal. É a fase onde se inicia o processo de socialização.

Pode-se simular esse desenvolvimento em computador destinando-se processadores para cada uma das juntas e submetendo as diversas redes neuronais associadas a um treinamento onde o objetivo é a manutenção do equilíbrio. Ao longo deste capítulo, no entanto, nossa intenção não será a de estabelecer o 'como' dessas simulações mas sim de determinar um quadro do que deve ser simulado.

A dominância lateral já está estabilizada aos 6 anos de idade. Os modelos computacionais de Edelman (1990) demonstram como isso decorre naturalmente do paradigma evolucionista. A transposição para o outro e para terceiros só será atingida após volta dos 8 anos. Com o domínio da segmentação, da lateralidade e dos esquemas espaço-temporais, o esquema corporal vai-se aperfeiçoando até que, entre os 10 e 12 anos a criança possa estabelecer uma relação perfeita com o mundo.

### 3.2 Dimensão afetiva - modelo psicanalítico

Com o início do século XX uma nova perspectiva se abriu para a pesquisa psíquica. Na Alemanha, os fisiologistas Herman Ludwig von Helmholtz, Emil Du Bois-Reymond, Ernst Brucke e Carl Ludwig tentam demonstrar que todos os fenômenos, inclusive os psíquicos, poderiam ser explicados sem a necessidade de qualquer recurso meta-científico.

Wundt (1832 - 1920) foi discípulo de Bois-Reymond; I. P. Pavlov (1849 -1936) estudou com Ludwig e S. Freud foi aluno de Brucke. Emerge a Psicologia como uma disciplina científica como decorrência de trabalhos pioneiros em psicologia clínica e terapia psicanalítica.

A 'psicanálise' não se originou da psicologia, mas tem suas raízes na psiquiatria que, no século XIX, estava solidamente estabelecida como um ramo da medicina. Em demonstrações impressionantes Jean-Martin Charcot mostrava que os pacientes poderiam ser libertados dos sintomas de histeria, simplesmente através da sugestão hipnótica. Estas demonstrações impressionaram profundamente a Sigmund Freud que, juntamente com Breuer, introduziu o método da 'livre associação'. A seguir descobriu-se o inconsciente e sua dinâmica, a libido ou impulso sexual como uma das principais forças psicológicas e a interpretação dos sonhos, 'a estrada real para o inconsciente', o id, o ego, o superego.

---

<sup>1</sup>sincinesia - perturbação na coordenação dos movimentos da qual resulta, por exemplo, levantar os dois braços quando pedimos que levante só um, etc.

Várias correntes derivaram do psicanalismo freudiano. Alfred Adler enfatiza as raízes sociais dos distúrbios mentais. Wilhelm Reich descobriu a 'courageira do caráter' enfatizando a necessidade da descarga direta da energia sexual, desenvolvendo técnicas de trabalho do corpo. Otto Rank enfatiza o trauma do nascimento. Quem mais contribuiu, no entanto, para o desenvolvimento da psicanálise foi o discípulo predileto de Freud, Carl Gustav Jung,

O próprio Freud reconhece, como uma atitude natural humana, rejeitar a idéia de que somos dominados por processos desconhecidos. Na "Conferência Introdutória à Psicanálise", de 1916, Freud diz que a espécie humana sofreu três grandes feridas em seu narcisismo. A primeira teria sido causada por Copérnico ao retirar a Terra do centro do Universo. A segunda por Darwin que tiraria do homem a pretensão de ser filho de Deus. A terceira seria a descoberta do inconsciente, retirando do homem o domínio sobre a sua vontade.

*Não é nossa intenção, nesse trabalho, discutir as qualificações das diversas teorias de afeto. Nosso objetivo é demonstrar que qualquer uma delas se beneficia de uma simulação computacional que abre as portas para uma psicologia teórica em que modelos podem ser simulados e predições serem feitas. Elegemos a psicanálise freudiana como base para o nosso modelo como poderíamos ter feito com qualquer outra e a discussão que se segue visa tão somente tornar claro o que um modelo computacional para essa teoria deveria ser capaz de reproduzir.*

A partir das noções de consciente e inconsciente, Freud introduz os conceitos de 'id', 'ego' e 'superego'. O Id é o reservatório de energias do indivíduo, sendo formado pelo conjunto dos impulsos instintivos inatos, que motivam as relações do indivíduo com o mundo. Entra aqui um tipo de desequilíbrio homeostático que denominamos de 'desequilíbrio afetivo'.

O Id é responsável pelo processo primário. Diante da manifestação do 'desejo' forma, no plano imaginário, o objeto que permitirá sua satisfação. Funciona pelo princípio do prazer podendo estar presente desejos ou fantasias mutuamente excludentes do ponto de vista lógico. É atemporal, não verbal, funcionando pela produção de imagens e por condensação e deslocamento. O Id não é o inconsciente mas é, em quase sua totalidade, inconsciente. O Id é uma instância estruturalmente inconsciente.

#### Definição 12 Processador primário (Id)

Definimos como processador primário idealizador estruturas que simulam a idéia relativa ao Id. Essas estruturas são constituídas por 'desejos' e 'objetos que satisfazem esses desejos'. Essas estruturas são construídas por condensação ou deslocamento.

#### Definição 13 Condensação

Define-se condensação pelo agrupamento, dentro de uma imagem, de características pertencentes a vários processos inconscientes.

#### Definição 14 Deslocamento

Define-se deslocamento como a transferência de características de uma imagem para outra, com a qual o sujeito estabelece relação como se essa fosse a primeira.

O Ego se diferencia a partir do Id servindo de intermediário entre o desejo e a realidade sendo, acima de tudo, corporal e biológico. Intermedeia, ainda, os processos internos, entre o Id e o Superego sendo o setor mais organizado e atual da personalidade. Domina a capacidade de síntese, a moticidade e organiza a simbolização. O Ego é a sede da angústia pois, como instância adaptativa, detecta os perigos reais e psicológicos que ameaçam a integridade do indivíduo. Esta angústia pode ser real (medo), neurótica (que os desejos do Id prevaleçam sobre os dados da realidade) ou moral.

Para entendermos melhor o modelo psicanalítico, ilustramos as relações entre Id, Ego e Superego no modelo abaixo.

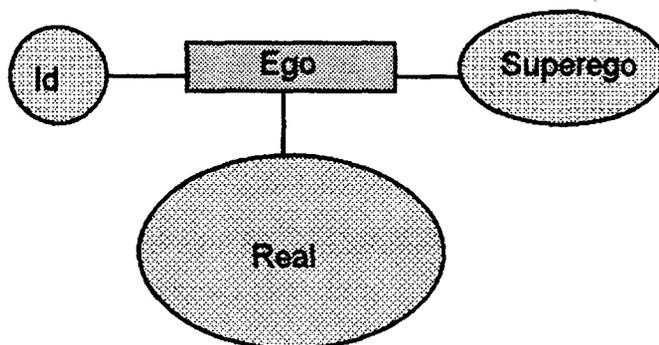


Figura 3.3 Relação entre o real e a estrutura freudiana da personalidade

Diante da manifestação do desejo, duas proibições podem ocorrer: as proibições morais, oriundas do superego e as interdições da realidade objetiva.

O superego é o responsável pela estrutura interna dos valores morais, ou seja, pela internalização das normas referentes ao que é moralmente proibido e o que é valorizado e deve ser ativamente buscado.

#### Definição 15 Processador secundário (Ego)

Definimos como processador secundário aquele que executa as funções do ego freudiano, ou seja, tenta harmonizar os desejos do Id com as restrições emanadas do superego. O tempo de busca no espaço de soluções estará associado ao sentimento de medo, nos diversos graus em que esse se manifesta. Em caso de insucesso a saída desse processador corresponderá ao sentimento de angústia.

#### Definição 16 Espaço de restrições (superego)

Definimos como espaço de restrições às proibições oriundas do superego e aquelas provenientes da realidade.

Observe-se que desejos, proibições, etc. não são dados a priori mas devem ser construídos, ou seja, vão depender da história psicológica da entidade autopoietica que se pretende modelar.

### 3.2.1 Mecanismos de defesa

Freud chama de "resistência" à força que mantém um evento traumático no inconsciente, impedindo-o de se tornar consciente e de "repressão" à força exercida para contrabalançar aquela exercida pelo trauma para se tornar consciente, ou seja, a força que nega à consciência o acesso à informação traumática. A descoberta da resistência e da repressão assinala, ainda, o surgimento do conceito de "mecanismo de defesa" que é como se denomina os diversos tipos de processos psíquicos cuja finalidade consiste em afastar um evento gerador de angústia da percepção consciente. Os mecanismos de defesa são função do Ego.

Quando estamos diante de um objeto ou imagem que apresenta características simultaneamente de prazer e ódio, dividimos este objeto, ou imagem, em dois, um bom e outro mau. Para Melanie Klein a divisão ou cisão é um dos primeiros mecanismos de defesa construídos pela criança.

Outros mecanismos são a negação ou negação da realidade, a projeção da culpa, quando nos sentimos maus, no mundo exterior, a racionalização quando justificamos nossas atitudes baseando-nos em premissas lógicas, a formação reativa que se caracteriza por um ato ou hábito psicológico oposto ao desejo que recalamos, a identificação quando internalizamos as características de alguém que valorizamos, a regressão a níveis anteriores de desenvolvimento, o isolamento de pensamentos, atitudes ou comportamento das conexões que teriam com o resto da elaboração mental, o deslocamento que provoca que descontemos em casa o que tivemos que 'engolir' na rua e a sublimação.

Cada um desses mecanismos podem ser visualizados como heurísticas que são construídas pela entidade autopoietica ao longo de sua ontogênese. A criança, quando nasce, é dotada de um mecanismo de equilíbrios que opera não só sobre as coisas do mundo como sobre si mesmo, tornando-se mais e mais capacitado em resolver os problemas de adaptação às perturbações que de forma forçada ou espontânea fazem evoluir o ponto de equilíbrio para outras regiões do seu espaço autopoietico.

No processo original de construção dos primeiros esquemas sensório-motores, como veremos, predomina a assimilação o que faz que muitas vezes, esquemas que entram em conflito uns com os outros sejam montados gerando desequilíbrios internos que, ao serem resolvidos, afetam a própria estrutura de equilíbrio de uma forma infinitamente recursiva.

### 3.2.2 Desenvolvimento como um processo de equilíbrio

Segundo Jean Piaget, a "afetividade" é a energética da ação: a afetividade é o motor (a força) que impulsiona a ação (o comportamento) e a inteligência é a estratégia (o modelo) desta ação (deste comportamento). A diferença entre um corpo qualquer e os seres vivos é que, no caso dos objetos, a força (energia) que os move vem de fora, ao passo que, nos seres vivos, essa força pode ser gerada pelo próprio organismo.

O comportamento dos seres vivos pode ter três procedências:

- ☞ pode ser instintivo, ligado ao próprio funcionamento biológico;
- ☞ pode ser um automatismo aprendido, um hábito adquirido, um reflexo condicionado e
- ☞ pode ser inteligente, fabricado pelo organismo quando se apresenta uma situação nova.

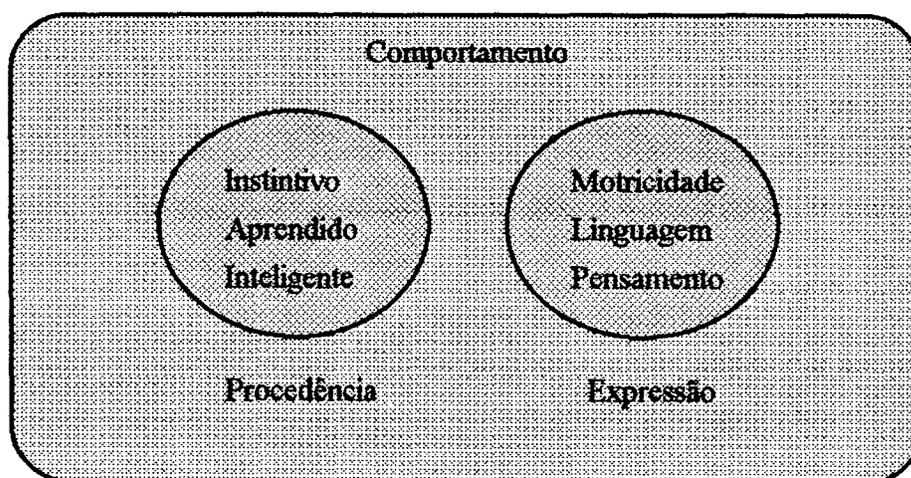


Figura 3.4 Procedência e expressão dos comportamentos

No caso do ser humano, o comportamento, em virtude da função semiótica, capacidade de substituir alguma coisa por qualquer outra, pode aparecer em três modalidades. Para Jean Piaget estas três modalidades de comportamento são aspectos diferenciados do mesmo fenômeno; a atividade do organismo:

- ☞ motricidade;
- ☞ linguagem e
- ☞ pensamento que pode ser presentativo, de origem sensorial e semiótico ou procedural, que comanda a conduta.

Jean Piaget dá tanta importância às estratégias do comportamento (inteligência), quanto à energética (afetividade) que está por trás da atividade dos seres vivos. Para ele uma não se manifesta sem a outra. *Todo movimento é gerado por uma (força) energia assumindo uma determinada forma ou modelo.*

Para ele não tem importância se o comportamento é sensorio motor, verbal ou mental: *"Não há comportamento sem uma energia que o impulsiona e não há outra maneira desta energia manifestar-se senão através de comportamentos"*.

Este 'fluxo energético' impulsiona a ação sempre que o equilíbrio do organismo é desfeito: o sistema de auto-organização entra, então, em ação para restabelecê-lo. O disparador da afetividade é a sensação de desorganização interna ou desadaptação com relação ao meio. Para Piaget o desequilíbrio manifesta-se, inicialmente, pelos interesses que vão, ao final, transformar-se em valores, vontades, ideais. A moral, para Piaget, é uma tabela de valores que comanda o fluxo das motivações; desejos, aspirações, tendências, vindo a operacionalizar-se em forma de regras que já são comportamentos intelectualizados.

A incapacidade de reorganizar-se é o grande fator de desregulação do fluxo de energia por manter o organismo em estado de desequilíbrio (frustração).

### 3.3 Fases do desenvolvimento afetivo

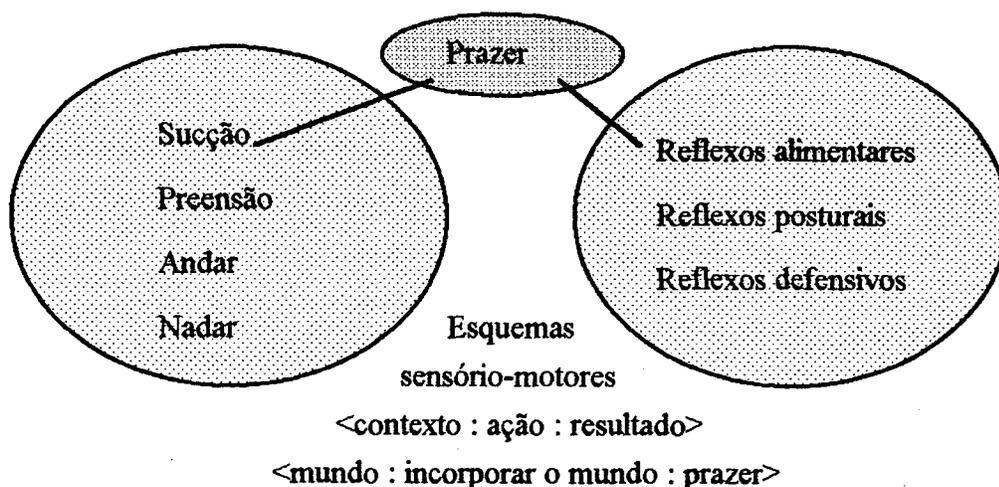
Todas as fases de desenvolvimento, segundo Freud, são caracterizadas por uma *erotização corporal*, uma *fantasia particular* e uma *modalidade de relação de objeto*. A fonte original da energia psíquica é denominada de libido. Esta se orienta sempre para a obtenção de prazer e sofrerá progressivas organizações durante o desenvolvimento. Cada nova organização da libido, apoiada numa zona erógena corporal caracterizará uma fase de desenvolvimento.

#### 3.3.1 Fase oral

A criança nasce com um conjunto inicial de reflexos que a pediatria divide em reflexos alimentares, reflexos posturais e reflexos defensivos. Esses são os mecanismos de defesa básicos herdados pela criança, geneticamente, da espécie a qual pertence. Será em torno dos reflexos alimentares que se desenvolverá a busca pelo prazer. Diante de um ruído forte os reflexos de defesa farão com que a criança se encolha e depois atire as pernas e braços para fora. Primeiro nos protegemos e, a seguir, tentamos expulsar a fonte de agressão, mas este grupo de reflexos, assim como os posturais, não tem a conotação de prazer apresentado pelos alimentares.

A angústia fundamental do nascimento ocorre com o corte do cordão umbilical quando se bloqueia o afluxo do oxigênio materno provocando um desequilíbrio (carência). A luta inicial é pela manutenção do equilíbrio homeostático. Ao nascimento, a estrutura sensorial mais desenvolvida é a boca. É pela boca que se mobilizará a luta pela preservação do equilíbrio homeostático. É pela boca que a criança aprende a provar e a conhecer o mundo. O seio é o primeiro objeto de ligação infantil. O reflexo de sucção é inato. Um toque realizado com o dedo no rosto da criança fará com que ela se volte para tentar sugar o objeto que a está tocando. Os toques em outras regiões do corpo provocarão, com frequência, o mesmo reflexo. Nas etapas iniciais da vida a criança não é capaz, ainda, de construir símbolos.

O mundo é introjetado pela boca. O conjunto de reflexos alimentares é o que vai permitir a obtenção da equilibração homeostática. Nesta fase sua 'fome' é fome mesmo, pelo alimento que a permitirá manter-se viva. O ato de mamar, de satisfazer a fome, é o primeiro prazer experimentado pela criança. O prazer oral é o primeiro que se estabelece.



*Figura 3.5 A afetividade dirige a construção dos esquemas iniciais da criança*

A fase oral é definida como a etapa de desenvolvimento onde a libido se organiza sob o primado da zona erógena oral, em que o modelo de relação é o da incorporação e a fantasia de que estar bem consiste em colocar dentro de si os objetos do mundo externo que são bons. O mundo interno de suas vivências é o seu mundo de fantasias.

K. Abraham propõe duas etapas para esta fase: a etapa de sucção oral e a etapa oral sádico-canibal que advém com a eclosão dos dentes. Na etapa de sucção se incorpora o seio, a mãe vivendo a criança no seu mundo de fantasia interno, num narcisismo. A fixação nesta fase é chamada pelos psicólogos de esquizofrenia que faz com que a criança se isole e regrida para o seu mundo interno de fantasias. O processo de incorporar e se sentir bem, que é chamado de identificação projetiva, constitui a base da configuração dos vínculos de amor, da configuração inicial da identidade e do reassuramento dos sentimentos positivos que permitem a progressiva evolução da libido através das várias fases.

O bebê discrimina mais a mãe pelo cheiro e pela voz do que pelo olhar, visto que o rosto humano só será discriminado no 4º mês. As carícias da mãe não só proporcionam intensa sensação de prazer como vão progressivamente dando à criança a configuração do próprio corpo. O leite e o seio não são suficientes. Devem estar acompanhados de um ritual prazeroso de conhecimento de uma figura amada e permanente.

Tomar o filho ao colo nu é dar-lhe um contato pele a pele gostoso e confortador. Com frequência a ausência do aleitamento materno está associada a problemas emocionais do desenvolvimento.

*A resposta à falácia emocional segundo a qual máquinas nunca serão capazes de 'sentir' como seres humanos é facilmente respondida na medida em que essas emoções são construídas e que, até onde saiba o autor dessa tese, nunca se proporcionou a uma máquina as condições necessárias para que estas pudessem construir tais esquemas emocionais.*

Na etapa sádico-canibal coloca-se a criança em uma situação ambivalente: de um lado ama e amar significa sugar e, de outro, sente a necessidade de mastigar e esse mastigar pode ser doloroso para o outro que reage. Abrahan associa o mastigar com o desenvolvimento da agressividade e da capacidade de destruir (mastigar). Sempre que a angústia predomina sobre o amor, que a dor predomina sobre o prazer, significa que a mãe foi perdida quer seja pela destruição quer seja por ter se protegido do contato destruidor. Este sentimento de destruir o que é amado constitui um quadro de fixação típico de melancolia, psicose maníaco-depressiva.

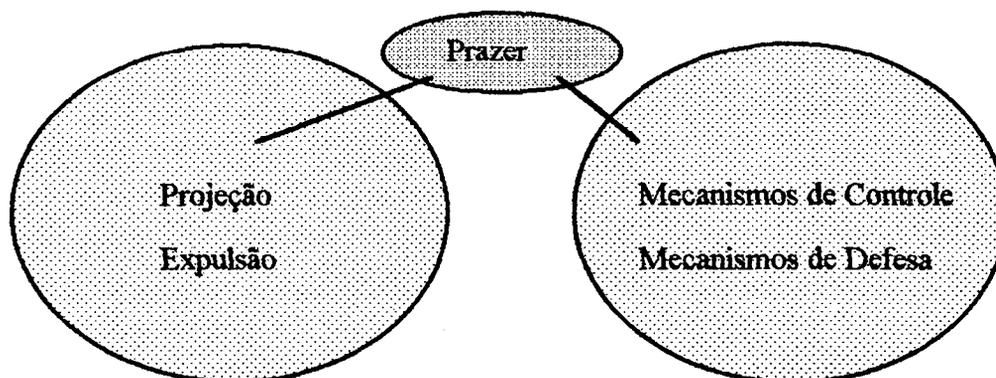
O desmame não deve ser interrompido por causa das mordidas. O processo é percebido pela criança como que, ao tentar se relacionar com o ente amado, a tenha perdido ou destruído. Desenvolve-se uma estrutura de devorar e destruir tudo o que é amado que acaba por conduzir ao isolamento. A simulação computacional desta fase se constitui num trabalho análogo ao desenvolvido por Drescher (1991) ao demonstrar como os esquemas sensório-motores descritos por Piaget são construídos.

Para que surja a melancolia é necessário que: haja um fator constitucional inato; uma fixação da libido no nível oral; uma lesão no narcisismo infantil; um desapontamento amoroso antes que os desejos edipianos tenham sido superados e a repetição do desapontamento primário na vida ulterior que desencadeará a regressão..

### 3.3.2 Fase anal

No início do segundo ano de vida a libido passa da organização oral para a organização anal. Pela maturação do controle muscular inicia a andar, a falar, aprendendo a controlar os esfíncteres. Projeção permite expulsar e controlar significa reter. O período é denominado de fase anal porque a fantasia básica ligada aos primeiros produtos que a criança começa a produzir privilegiam o valor simbólico das fezes. O erotismo anal é o elemento central de organização das fantasias.

As fezes são objetos que vêm do própria corpo, partes de si mesmo, geram prazer ao serem produzidas, são oferecidas aos pais como prendas ou recompensas. Quando o desenvolvimento é normal, ou seja, quando a criança ama e sente que é amada pelos pais, tudo que produzimos é bom e é valorizado. O sentimento de autonomia ou de adequação se origina nesta fase a qual também pode ser dividida em duas etapas: uma fase de expulsão e outra de retenção: Fase anal de expulsão, que se caracteriza pelo desenvolvimento do mecanismo de defesa básico, projeção e fase anal de retenção onde criamos mecanismos de controle.



*Figura 3.6 A afetividade dirige a construção dos mecanismos de defesa e de controle*

Se as relações de angústia predominam sobre as relações de amor o que produzimos pode ser destrutivo e, ao projetarmos esses produtos destrutivos no mundo, geramos um mundo mau e destruidor que nos persegue. A paranóia é a primeira filha do fracasso em estabelecer a colocação dos produtos infantis no mundo.

A socialização e a internalização de valores estarão ligados à receptividade que os 'produtos' terão no mundo. No pensamento infantil, ética e estética se confundem, o belo, o bom e o amor são correlatos. O sentimento geral de adequação do que produzimos é o que nos dará liberdade e confiança para criar e produzir. Há um grande prazer em expelir e reter e é sobre este vínculo de prazer que serão exercidas as primeiras pressões de socialização. É sintomático que o treino dos esfínteres, o andar e o falar regredam diante de qualquer problemática emocional mais intensa.

A formação de valores, nesta fase é rígida. O certo e o errado devem estar bem definidos. A expectativa presente é a da recompensa do bem e da punição do mal. A criança experimenta uma dicotomia organizadora do bem e do mal. Piaget confirma que, durante o processo de desenvolvimento, a criança passa inicialmente por uma fase onde não se justifica o que é errado e em que a medida do quanto se está errado é quantitativa e não qualitativa. (Piaget, 1924)

A sexualidade está iniciando sua organização. O erotismo anal é um erotismo muscular. A postura masculina é de conquista pela força, pelo choque, pela ruptura. A postura feminina é de armar o laço. Desenvolve-se a modalidade ativo-passivo.

As defesas projetivas, ou seja paranóides, serão derivadas das modalidades expulsivas. As defesas por controle, ou seja, obsessivas, serão derivadas da retenção.

Se os produtos forem projetado numa estrutura paranóica, na estrutura retentiva serão retidos e controlados. A neurose obsessiva é a segunda consequência do fracasso do desenvolvimento da fase anal acarretando, no indivíduo, uma incapacidade de criar.

A fantasia na fase anal projetiva é a de que algo interno que produzimos e que colocamos no mundo possa nos premiar ou nos destruir.

A distorção afetiva neste momento implica o sentimento de que se está cheio de maldade. O que é colocado no mundo é mau e destrutivo. Todos nos servimos, eventualmente, de mecanismos projetivos para afastar um sentimento de inadequação. Esses mecanismos podem estar presentes na vida de qualquer pessoa comum. O que define a patologia é a predominância desses fazendo com que qualquer relação seja estabelecida através deles.

Na fase anal de retenção, sádico-anal ou anal de controle uma cobrança que não pode ser entendida desperta angústias e desejos que não podem ser vivenciados. As tentativas de controle ou de posse predominam sobre as de amor ou elaboração. O obsessivo não ama, apenas domina, não cria, apenas manipula. Na racionalização constrói uma teoria falsa para ocultar a angústia trazida pela verdadeira, na intelectualização elabora a verdade de forma a manter um distanciamento afetivo.

### 3.3.3 Fase fálica

O encontro com o seio, na fase oral, estabeleceu as primeiras ligações efetivas com o mundo exterior. Mais tarde a mãe inteira, o pai e os outros objetos, entram sucessivamente nas relações infantis. Para Melanie Klein e Arminda Aberastury as relações, ainda na fase oral, entre mãe, pai e a criança já estabelecem um complexo de Édipo clássico. A fase anal traz para a criança o domínio muscular e a entrada no mundo, o sentimento de autonomia. Neste período se desenvolvem os primeiros posicionamentos ativo-passivo que constituirão as raízes do futuro modelo masculino feminino.

Por volta dos três anos de idade a erotização passa a ser dirigida pelos genitais e a masturbação torna-se freqüente e normal. A libido inicia nova organização. A erotização masculina cai sobre o pênis e a feminina se manifestará no clitóris. É causa de reflexão o tratamento que se dava a histéricos, preconizado por Hipócrates de Cós e seguido até fins do século passado e que consistia no deslocamento do útero ou na extração do clitóris.

Dentro do modelo Freudiano o conhecimento da vagina só se dará na adolescência. A erotização fálica traz a fantasia de que ambos, menina e menino, são portadores de um pênis. A medida que o desenvolvimento se processa, a percepção da realidade confirmará aos olhos infantis que só o homem é portador de pênis, ficando a mulher na condição de castrada. Isto forma as bases diferenciais das organizações psicológicas masculina e feminina. A fantasia básica nessa idade é fálica. A libido está organizada sob o primado da zona erógena genital, mas configurada sob a fantasia fálica.

A erotização cria um desejo insatisfeito acumulando tensão. Esta tensão deve ser descarregada, o que proporciona prazer. A maior parte dos vínculos de prazer na infância estão ligados à mãe.

A sexualidade masculina, como fator dominante, parece ter, para Freud, características filogenéticas, ou seja, fantasias de poder e de domínio masculinos, oriundas das estruturas dos grupos totêmicos que encontram sua concretização na posse biológica do pênis.

Os modelos de relação entre o homem e a mulher são construídos nesse período. O menino forma uma espécie de sentimento de busca de prazer junto a mulher.

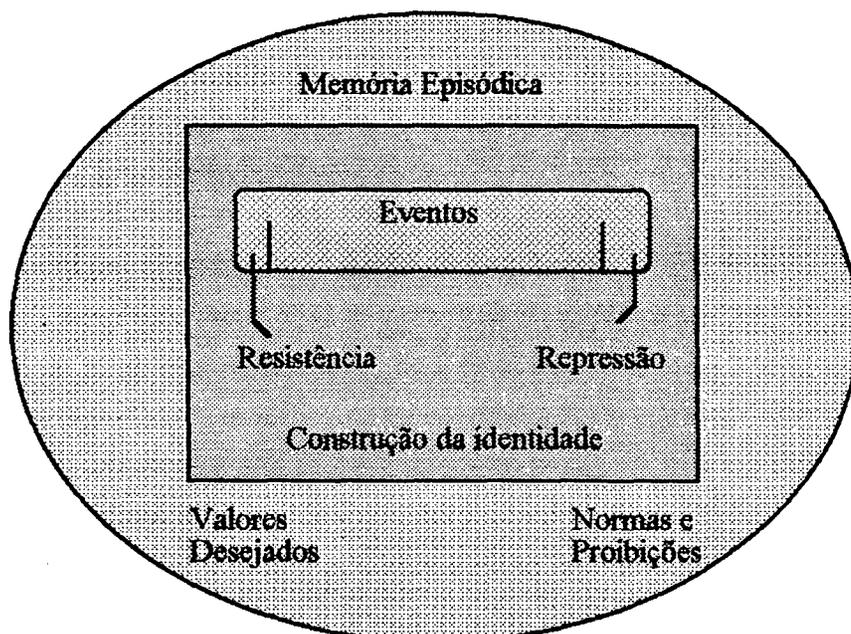


Figura 3.7 Construindo a identidade e o superego

O esquema repressor entra em cena na figura do pai, dono da mãe e das mulheres, símbolo da autoridade. O pai é o interceptor entre o filho e a mãe, vedando que se case com a mãe, que se a namore. Esse triângulo é o que Freud chama de "Complexo de Édipo". Na fantasia infantil o pai castrará a criança se esta não reprimir o que sente pela mãe. Este é o ponto central da organização afetiva dentro do modelo psicanalítico.

O garoto, por estar aterrorizado diante de um adversário poderoso utiliza, para se proteger, do mecanismo de identificação. Sendo igual a ela não precisará temê-la. O desenvolvimento desse processo de identificação é fundamental para a aquisição da identidade masculina cuja formação verdadeira só se dará na adolescência.

Para resolver o conflito edipiano não basta a identificação do menino com o pai, é preciso que ele se utilize da repressão, reprimir o amor pela mãe é o mesmo que reprimir a sexualidade. O amor sexual pela mãe é sublimado em outras atividades. Essa energia sexual, talvez, vá se dirigir mais para o aspecto cognitivo pois é, nesta idade, ao fim da fase fálica que, segundo Piaget, a criança deixa o período pré operatório.

O Édipo feminino é iniciado quando a menina se percebe castrada e estende-se por todo o período de latência.

A organização da identidade e sexualidade feminina é gradual possuindo dois fechos evolutivos importantes: a transição da sexualidade clitorica para a vaginal e a vinda de um filho quando ela realmente realiza a fantasia de possuir um pênis.

Para Melanie Klein a erotização decorrente da frustração oral dá, à mulher, um conhecimento precoce, ainda que fantasiado, de seus genitais femininos internos, ou seja, a erotização feminina seria anterior à masculina. A competição ou o conflito estabelecido com a mãe é precoce, sendo reativado na vivência do Édipo clássico. A fantasia básica da menina é a fertilidade.

Durante a etapa anal já havia organização de valores e, portanto, um superego, externo, dominado pelos valores parentais, a funcionar numa lógica binária do olho por olho, dente por dente. Com a repressão da sexualidade introjeta-se o tabu do incesto, nasce o Superego, orientado por normas internalizadas.

Esse superego é estruturado em duas dimensões complementares: O Ego Ideal, que internaliza os valores desejados e a consciência moral, sede dos tabus, das proibições.

Os quadros clássicos da psicopatologia eclodem após a puberdade, ou seja, a evolução afetiva vai-se organizando gradativamente. A castração simbólica, paralela ao erotismo difuso e dramático em conjunto com a fobia são características de um quadro de histeria. O histérico, incapaz de organizar e usufruir de sua sexualidade, pode não definir o objeto adequado para a sexualidade permanecendo numa indiferenciação que o torna atuando sedutoramente tanto na relação com o seu próprio sexo quanto na com o sexo oposto.

### 3.3.4 Período de latência

Com a repressão do Édipo, a energia da libido fica temporariamente deslocada dos seus objetivos sexuais sendo canalizada para o processo de desenvolvimento intelectual e social da criança.

Este período não é, propriamente, uma fase pois não há organização de nova zona erógena nem nova fantasia e nem novas modalidades de relação. É um período intermediário entre a genitalidade infantil e a adulta.

O período de latência marca as primeiras saídas reais para o grupo social fora de casa. A aprendizagem da realidade social começa agora a ser simultaneamente maravilhosa e cruel. Primeiramente meninos brincam com meninos e meninas com meninas. Os apelidos nem sempre são carinhosos mas é melhor ser reconhecido, ainda que pejorativamente, do que ser ignorado. Ocorre uma elaboração transicional para a sexualidade adulta.

### 3.3.5 Fase genital

Alcançar a fase genital constitui, para a psicanálise, atingir o pleno desenvolvimento do adulto normal. É capaz de amar, de definir um vínculo heterossexual, de ter pleno prazer. Procriará e os filhos serão fonte de prazer.

Como período de organização final das aquisições, a adolescência atualiza e reflete todas as crises e dificuldades enquistadas no processo de desenvolvimento. Momento ambíguo de aquisições e de perdas.

A grande maioria dos surtos neuróticos e psicóticos eclodem na adolescência final. As aquisições que se constroem sobre a superação dos modelos anteriores geram a angústia de não estar nem em um lugar nem em outro. O corpo infantil é perdido. O adolescente não só se sente desajeitado, como é desajeitado. Os fatores libidinais em evolução, paralelos a outras alterações físicas, as vezes o aterrorizam.

A sexualidade vem com o mesmo matiz, de um lado a evolução natural para a genitalidade força a definição, de outro, ao nível de onnipotência, a definição é também uma perda. Na escolha sadia, a perspectiva de construção é superior em gratificação à frustração pela perda.

Erikson divide a aquisição da identidade em três compartimentos centrais: sexual, profissional e ideológico (político - religioso). A identidade fica definida como uma evolução que parte de múltiplas identificações, constituindo uma nova gestalt original e funcional do sujeito.

Personalidade e identidade são conceitos distintos. Os padrões de condutas cobrados ficam mais próximos das definições de personalidade e a definição das aquisições ficaria mais próxima dos conceitos de identidade, mas os dois conceitos são extremamente interdependentes. Para compreender a adolescência é necessário a análise completa do que ocorreu nas fases anteriores.

Freud	Erikson	Crise
Etapa	Modalidade	Crise psicossocial
Fase Oral	oral-sensorial	confiança básica x desconfiança
Fase anal	muscular-anal	autonomia x vergonha e dúvida
Fase fálica	locomotora - genital	iniciativa x culpa
Período de latência	latência	indústria x inferioridade
Fase genital	adolescência	identidade x confusão de papéis
	idade adulta jovem	intimidade x isolamento
	maturidade	integridade de ego x desesperança

### 3.4 Dimensão Cognitiva - Modelo Piagetiano

#### 3.4.1 Introdução

Mountcastle (apud Popper, 1977) exprime de forma concisa e vívida a relação que existe entre a percepção consciente, os sistemas sensoriais e o cérebro.

*"Cada um de nós vive dentro do universo, a prisão do seu próprio cérebro. Deste se projetam milhões de frágeis fibras nervosas sensoriais, em grupos, unicamente adaptadas para captar os estados energéticos do mundo à nossa volta; calor, luz, força e composições químicas. Isto é tudo que podemos saber do mundo de modo direto; tudo o mais é inferência lógica. Os estímulos sensoriais que nos alcançam são registrados pelas terminações nervosas periféricas, e réplicas neurais deles são enviadas em direção ao cérebro, para o grande manto cinzento do córtex cerebral. Nós os usamos para formar mapas neurais dinâmicos e continuamente atualizados do mundo externo, tanto no que diz respeito à nossa localização e orientação, quanto ao que se refere aos eventos dentro dele. No nível de sensação, as suas imagens e as minhas imagens são virtualmente as mesmas e prontamente identificáveis como iguais por uma descrição verbal, ou por uma reação comum. Além deste ponto, cada imagem está associada a uma informação genética e a uma informação armazenada que tem origem na experiência que nos transforma num mundo privado e único. A partir desta integral complexa, cada um de nós constrói, num nível mais elevado da experiência da percepção, sua própria vida, muito pessoal, partindo de dentro do seu íntimo".*

O problema da epistemologia, que concerne ao estudo do conhecimento, sempre foi objeto de ocupação por parte da filosofia. Mas a filosofia sempre abordou esta questão unicamente pela reflexão. Esta é a razão pela qual a epistemologia sempre foi e ainda é, em grande parte, objeto de pura especulação. Um dos grandes méritos de Piaget neste sentido foi o de ter situado a epistemologia no campo da experiência científica.

Observando inicialmente que existem múltiplas formas de conhecimento, cada uma das quais levantando um número indefinido de questões particulares, Piaget renuncia a estudar o que é o conhecimento, ou a tomar partido sobre a natureza do espírito e se concentra em estudar *como aumentam esses conhecimentos*.

Livre Arbítrio ou Determinismo? Nascemos programados geneticamente ou somos capazes de alterar essa programação? Até que ponto? Em uma extremidade exatamente oposta ao construtivismo Piagetiano, Noam Chomsky duvida da própria inteligibilidade da noção de aprendizagem, particularmente no que tange aos universais cognitivos, isto é, conceitos normalmente adquiridos por todas as pessoas. Chomsky propõe a seguinte questão retórica: Como diferenciar o inevitável desenvolvimento de dedos por um zigoto da aprendizagem de uma língua por um humano?

O método genético consiste em estudar o conhecimento em função de sua construção, quer remontar às fontes do conhecimento, entender como se dá a sua gênese dentro de uma perspectiva de que não há conhecimento pré-determinado por nenhum mecanismo inato dado que as estruturas cognitivas do sujeito são o resultado de uma construção efetiva e contínua. Também não há pré-determinação nos caracteres preexistentes dos objetos, porque eles só são apreendidos através dessas estruturas.

O argumento construtivista é que, enquanto na 'aprendizagem', por exemplo, dos nomes e 'lay out' das ruas de uma cidade, alguma informação é ganha, nenhuma informação adicional é responsável pelo crescimento dos dedos no zigoto. Piaget não é "contra" o inatismo mas rejeita a hipótese de que "tudo" possa ser explicado por este mecanismo.

O Construtivismo de Piaget entende como manifestações de alguma 'coisa' externa, uma 'coisa' que existe mesmo quando não a percebemos, noções como a de 'objeto' ou de que 'sensações visuais e derivadas do tato estejam relacionadas'. Esta 'coisa' não é herdada mas abstraída das relações da criança com o mundo exterior, a exemplo dos juízos de Kant. De forma semelhante, as noções de lógica, classificação, números, do que sejam as pessoas, do que somos nós, etc. seriam todas, gradualmente, construídas.

Pesquisar os processos psicológicos que causam a equilibração dos mecanismos cognitivos foi uma das tarefas centrais do trabalho de Piaget, visando criar um modelo psicológico do processo de equilibração. Como "conhecemos"? Este é o tema central de sua Epistemologia Genética. A preocupação central de Piaget foi o "sujeito epistêmico".

### 3.4.2 Histórico

*"Como a Psicologia é mais difícil que a Física!"* (Declaração de Einstein à Piaget).

Jean Piaget, nasceu em Côte-Aux Féés, Neuchatel (Suíça), em 09 de agosto de 1896. Doutor em Ciências Naturais, professor de Psicologia, de Sociologia e de Filosofia das Ciências e do Pensamento Científico, publicou seu primeiro artigo sobre a biologia dos lagos suíços em 1907, com 10/11 anos. Até 1920, então com 24 anos, já tinha vinte e cinco trabalhos publicados, todos sobre Biologia. (Talvez derive daí a sua admiração por Aristóteles).

Com mais de 50 livros e centenas de artigos publicados seria pretensão a tentativa de se conhecer todo o alcance de sua volumosa obra. O próprio Piaget exemplificou o construtivismo que advogou. Deve-se estudar Piaget de trás para diante, das últimas obras para as primeiras. Tal método facilita acompanhar a evolução do seu raciocínio. Quando queremos subir no telhado primeiro visualizamos a nós mesmos encima do teto e depois subindo a escada. O primado do resultado sob as condições necessárias para se atingir esse resultado deriva-se da obra piagetiana.

O primeiro trabalho em Psicologia, foi publicado por Piaget aos 25 anos de idade. Pesquisou e escreveu sobre Biologia, Filosofia, Psicologia, Lógica, Sociologia, História da Ciência, Física e Matemática. A conclusão principal da filosofia piagetiana é que "*A psicologia é a ciência da qual a Lógica é a axiomatização*", estreitando, de vez, os liames entre disciplinas tradicionalmente descorrelacionadas como Filosofia, Lógica e Psicologia, entre outras.

Vinculando a Psicologia à Biologia, Piaget viu na inteligência a etapa final do processo de adaptação dos seres vivos ao seu ambiente. Dentro do conceito de autopoiese, essa adaptação, nos seres humanos, se faz em relação a todo o universo que o cerca, além da realidade imediatamente perceptível e manipulável.

Piaget defende uma *gestaltkreis*. Não só a percepção de um todo somente, mas a percepção de um todo que provoca um desequilíbrio, que desperta a fome e que nos faz agir de maneiras a modificar esse todo e assim assimilá-lo ou acomodá-lo às nossas estruturas.

Até Piaget, apesar da função do espírito ser pensar, a única coisa que a psicologia não pesquisara era o pensamento. Para os behavioristas o pensamento era, e ainda é, chamado de 'caixa preta', inacessível à pesquisa. Piaget quebrou este tabu e dedicou-se, precisamente, a descobrir como o ser humano pensa, porque uns são lógicos e outros não, porque a criança pensa diferente do adulto, etc.

Uma coisa que Piaget descobriu foi, invertendo a lei biogenética, que *a filogênese é uma recapitulação da ontogênese*, isto é, a humanidade (os cientistas como coletividade) evoluem do mesmo modo que as crianças imitando as explicações que a criança dá para acaso, probabilidade, lei, necessidade lógica, etc. *A criança explica o Homem*.

Desde Aristóteles, por exemplo, todo mundo supõe que a vida mental procede da percepção. Piaget demonstrou que essa afirmativa é falsa. A vida mental é uma dublagem da ação. Primeiro o estímulo, depois a resposta, dizem os psicólogos. Para Piaget, primeiro vem a resposta. É a resposta que busca por um estímulo. A neurobiologia vem suportar os experimentos bem sucedidos de Piaget. O estímulo só estimula se o organismo (mente) estiver preparado (necessidade) para recebê-lo.

Para Piaget, é possível se distinguir dois aspectos no desenvolvimento intelectual da criança. Por um lado, o aspecto psicossocial, quer dizer, tudo que a criança recebe do exterior, aprende por transmissão familiar, escolar, educativa em geral; e depois, existe o desenvolvimento que Piaget chama de espontâneo ou psicológico que consiste no desenvolvimento da inteligência, ela mesma; o que a criança aprende por si mesma, o que não lhe foi ensinado mas que ela deve descobrir sozinha.

O desenvolvimento psicossocial está subordinado ao desenvolvimento espontâneo e psicológico. Se noções relativas à proporção forem ensinadas antes dos 11 anos, a criança não será capaz de entender por não ter desenvolvido as operações necessárias.

Piaget mostrou que a topologia é a disciplina matemática mais recente na evolução cognitiva da criança. Conceitos primitivos como vizinhança, fechamento, fronteira, etc, surgem inicialmente. A criança é, a princípio, einsteiniana; concepção topológica da realidade, para só depois, por necessidade prática de medir e contar, tornar-se newtoniana.

A inteligência seria o resultado de uma construção que se daria ao longo do período de desenvolvimento da criança, do nascimento até o fim da adolescência. O ponto de partida dessa construção é a organização biológica do indivíduo com seus esquemas de conduta inatos. A inteligência seria o resultado do desenvolvimento, crescimento e diferenciação desses esquemas inatos, num processo de elaboração que ultrapassaria os limites do nível biológico. A adaptação inteligente do indivíduo ao meio vai além da adaptação orgânica ao ambiente, atingindo o nível cognitivo, isto é, o nível das ações que implicam o conhecimento. No limite, a inteligência seria a adaptação das ações interiorizadas que constituem o pensamento.

### 3.4.3 Alguns conceitos fundamentais

#### • Hereditariedade

A visão de Piaget é interacionista. O indivíduo herda uma série de estruturas biológicas: sensoriais e neurológicas, que vão amadurecer em contato com o meio ambiente. As estruturas cognitivas vão resultar de uma interação homem meio ambiente segundo um processo de reequilibrações sucessivas.

Piaget demonstrou que os mecanismos da inteligência, além de serem constituídos pelo *inatismo genético* (racionalistas), pelas *interações sensoriais com o mundo externo* (empirismo) ou derivados da *integração social*; contam com um quarto fator, intrínseco ao indivíduo: a *busca do equilíbrio estrutural dos mecanismos cognitivos*.

O desenvolvimento e, até mesmo, a formação do conhecimento, é explicável, recorrendo-se a um processo central de equilíbrio. Uma "resposta" em busca de um "estímulo" faz com que um organismo saia de um estado de equilíbrio e, através de compensações e regulações, levando do desequilíbrio a estados de equilíbrio intermediários, qualitativamente diferentes, procure se adaptar ao seu meio ambiente, até que uma nova "resposta" procure por um "novo estímulo"...

#### • Adaptação

A inteligência é uma das formas de adaptação, que a vida assumiu no decorrer de sua evolução. O organismo biológico se adapta ao ambiente, construindo materialmente formas novas para inseri-las nas do universo, ao passo que a inteligência prolonga tal criação construindo mentalmente estruturas suscetíveis de se aplicarem às do meio.

No ser vivo e na inteligência pode-se distinguir elementos variáveis e invariáveis. Os elementos invariáveis podem ser identificados com dois grandes grupos funcionais: a organização e a adaptação.

Há adaptação quando um organismo se transforma em função do meio e quando essa variação tem por efeito um acréscimo das trocas em ambos, acréscimo esse favorável à sobrevivência do organismo.

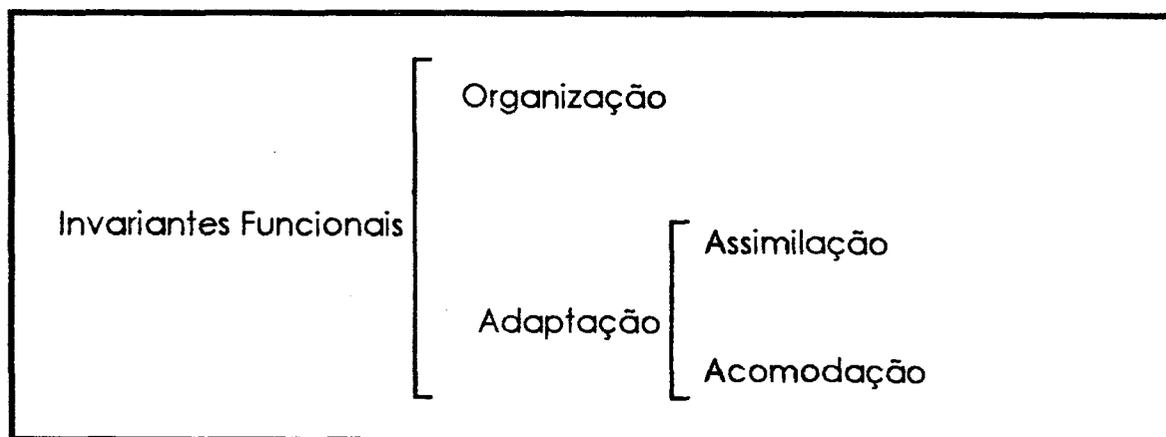


Figura 3.8 Os invariantes funcionais de Piaget

Pode-se modelar esse processo através de um conjunto estruturado que entra em relação com o meio. Há, então, dois casos a considerar:

- ⊗ os elementos do meio são incorporados ao conjunto estruturado que os transforma em si próprio;
- ⊗ o meio se transforma e a organização se adapta a essa mudança transformando-se ela própria.

Esses dois processos são conhecidos respectivamente como assimilação e acomodação. Assim, pode-se dizer que a adaptação é um equilíbrio entre a assimilação e a acomodação. *Assimilação corresponde à utilização, por um esquema, das coisas existentes no mundo como parte de seu próprio funcionamento; Acomodação consiste na modificação de esquemas para que se ajustem às coisas novas que aparecem no mundo.*

Não é possível se compreender uma criança, qualquer que seja a sua idade, sem se conhecer a sua história. A vida mental consistiria, como vimos, num processo de assimilação, pelo qual a criança incorpora, em seus esquemas a experiência decorrente de sua própria atividade, e por um processo de acomodação, pelo qual esses esquemas são modificados continuamente face a dados sempre novos.

A criança começa a construir em sua mente um mundo de objetos, do qual ela faz parte, os quais só existem como consequência de sua ação no mundo. O espaço também é, a princípio, uma propriedade de sua própria ação. Da mesma forma, a compreensão da causalidade, restringe-se às ações por elas provocadas. Só a partir daí é que a criança estende causalidade como algo ligado não apenas às suas ações mas a de outras pessoas .

Para a criança o universo inicial não é uma teia de seqüências causais, mas simples coleção de acontecimentos que surgem na extensão da própria atividade. Sua tarefa, ao amadurecer, é construir essa teia de seqüências causais pouco a pouco, reconstruindo quando necessário. Todo o alicerce do conhecimento que uma criança tem do mundo, resulta de suas próprias ações que ela depois internaliza para formar o material de seu pensamento.

Durante a formação de uma estrutura de raciocínio, cada novo processo deve ser construído a partir de um que a criança adquiriu anteriormente. Os estágios cognitivos não correspondem a níveis de amadurecimento ou a níveis de educação, mas são resultados de processos de assimilação e acomodação.

Organização e adaptação são os invariantes funcionais identificados por Piaget. Uma ameba emite pseudópodos para incorporar uma partícula alimentícia, a qual deve transformar-se de substância totalmente estranha em partícula assimilável; a esse processo dá-se o nome, em biologia, de assimilação. Piaget utiliza esse mesmo mecanismo, sem mudá-lo para explicar a formação da inteligência.

Os sistemas cognitivos são, por um lado, abertos às trocas com o meio ambiente e, por outro lado, fechados, a medida que se constituem em ciclos. Considere A, B, C, ... Z partes constituintes do ciclo e A', B', C', ... Z' os elementos do meio necessários à sua alimentação. A forma esquemática desta estrutura é:

$$(Ax A') \Rightarrow B$$

$$(BxB') \Rightarrow C$$

....

$$(ZxZ') \Rightarrow A$$

No caso de uma perturbação exterior, o organismo espera a resposta ou o estímulo B' do meio e recebe B'', três coisas podem acontecer: Primeiro pode haver uma compensação, ou seja, atinjo um novo estado de equilíbrio. B é modificado, ou seja, alguma percepção que eu tenha do mundo é alterada pelos dados externos obtidos, os quais transformam B em B<sub>2</sub>. Segundo pode haver uma rejeição, ou seja, o organismo se mantém no estado de equilíbrio atual, vê mas faz de conta que não vê e terceiro, pode ocorrer uma tentativa falha de compensação, ou seja, o organismo se move para um ponto de equilíbrio instável. Associando-se uma teoria do afeto ao processo diríamos que, no primeiro caso, ocorre uma sensação de prazer, no segundo uma emoção negativa e no terceiro a ocorrência de uma gestalt aberta.

Os ciclos, de acordo com a teoria piagetiana, se relacionam a dois processos fundamentais que constituem os componentes de todo equilíbrio cognitivo: a assimilação e a acomodação. A proposta que fizemos não viola o segundo postulado de Piaget posto que os mesmos se referem a um desenvolvimento normal e não patológico:

◊Primeiro postulado de Piaget: *Todo esquema de assimilação tende a alimentar-se, isto é, incorporar elementos exteriores. É pois, necessária uma atividade assimilatória por parte do sujeito (motor).*

◊Segundo postulado: *Todo esquema de assimilação é obrigado a se acomodar aos elementos que assimila.*

O desequilíbrio constitui o móvel para o desenvolvimento, mas não desempenha mais do que um papel de desencadeamento. Há duas grandes classes de perturbações. A primeira compreende as que se opõem às acomodações: resistência do objeto, obstáculo às assimilações recíprocas de esquemas ou de subsistemas, etc. São as causas de fracassos e de erros e correspondem aos 'feedbacks' negativos. A segunda classe de perturbações consistem de necessidades que ficam insatisfeitas, ou lacunas deixadas pela alimentação insuficiente de um esquema. Mas não é qualquer lacuna que constitui uma perturbação. A lacuna se torna uma perturbação quando se trata da ausência de um objeto ou de condições necessárias para concluir uma ação, ou, ainda, carência de conhecimento indispensável para resolver um problema. A lacuna, enquanto perturbação é relativa a um esquema de assimilação já ativado e corresponde a um 'feedback' positivo.

Nem toda a perturbação causa uma regulação. Ela pode causar apenas uma repetição da ação na esperança de ser melhor sucedida, ou o cessar da ação ou uma ativação em outra direção. Na ausência da regulação não há reequilibração.

#### ◊ Esquema

Quando nascem, as crianças não são dotadas de capacidades mentais prontas, mas apenas de alguns reflexos, como chupar e agarrar, além de tendências inatas a exercitá-los e a organizar suas ações. Da mesma forma como o nosso corpo é formado de células que se organizam em unidades maiores como os tecidos, órgãos e aparelhos, no aspecto mental teríamos esquemas simples, esquemas complexos, meta esquemas, etc. O trabalho de Piaget, fundamento das pesquisas empíricas modernas sobre a gênese da inteligência nos indivíduos, está centrado no conceito de *esquema*:

*Um esquema é uma unidade de comportamento e conhecimento que, de acordo com a metáfora biológica de Piaget, interage e evolui em conjunto com o seu ambiente e outros esquemas.*

Os esquemas iniciais correspondem aos reflexos. Nas crianças confundem-se com as próprias ações. Sofisticações adicionais, envolvendo combinação de esquemas, abstrações sobre ações específicas e interiorização das atividades de esquemas, permitem a transcendência à ação física.

Esquemas de olhar, pegar o que se vê, esconder um objeto sob outro, empurrar um objeto com outro, são exemplos de esquemas pós-reflexo.

### 3.4.4 Teoria dos Períodos Cognitivos

*O método clínico é a arte de perguntar: não se limita a observação superficial, mas visa a capturar o que está oculto por trás da aparência imediata das coisas. Analisa até seus últimos componentes a menor observação feita pela criança. Não abandona a luta quando a criança dá respostas incompreensíveis, mas apenas segue mais de perto em busca do pensamento sempre fugidivo, tira-o de seu manto, persegue-o e acossa-o, até poder agarrá-lo, dissecá-lo e pôr a nu o segredo de sua composição. (Introdução a Language and Thought of the Child, J. Piaget, 1926; original francês de 1923).*

Ao longo de sua vida, Piaget observou que existem formas diferentes de interagir com o ambiente nas diversas faixas etárias. A estas maneiras típicas de agir e pensar Piaget denominou períodos, estágios, fases, etc. sendo que o significado dado a cada um desses conceitos é causa de confusão para os estudiosos posto que foram utilizados, por Piaget, de diferentes maneiras em suas obras. Para evitar essa confusão optamos por classificar em períodos, sub-períodos e estágios, respeitando os conceitos fundamentais do mestre suíço.

☛ *Período 1- Vai de 0 a cerca de 2 anos e é definido, por Piaget, como estágio sensorio motor.*

Assiste-se, nesse período, a uma organização dos movimentos e deslocamentos que, primeiramente, centrados no próprio corpo, se descentralizam pouco a pouco, e atingem um espaço no qual a criança se situa como um elemento a mais entre outros. Esse processo de descentralização progressiva se repete em outros períodos.

A criança aprende a coordenar as suas ações com o que percebe ou com outras ações, e a usar certos esquemas elementares, *esquema de imitação* por exemplo, isto é, maneiras de comportar-se aplicáveis a muitos objetos diferentes, por exemplo, acompanhar com os olhos, sacudir-se, dar batidas, sugar, etc.. Durante esse tempo a criança adquire a idéia de permanência de um objeto, mesmo quando ele não está imediatamente à sua frente, e uma compreensão de primeiro nível de algumas relações de espaço, causalidade e tempo. Piaget demonstra que a compreensão que uma criança tem de espaço é inicialmente limitada a relações topológicas; proximidade, separação, ordem, ambiente, continuidade de linhas e superfícies, isto é, ela é capaz de distinguir relações como juntos, separados, atrás, na frente, abaixo, em cima, dentro, fora, etc.

Esse período pode ser dividido em seis estágios: *Estágio 1; de 0 a 1 mês, correspondendo aos atos reflexos; Estágio 2; de 1 a 4 meses, primeiros hábitos; Estágio 3; de 4 meses e meio a 8-9 meses, coordenação dos sentidos; Estágio 4; de 8-9 até 11-12 meses, coordenação dos esquemas secundários empregando meios conhecidos para atingir um objetivo novo; Estágio 5; de 11-12 até os 18 meses, diferenciação dos esquemas de ação e Estágio 6; de 18 à 24 meses, começo da interiorização dos esquemas.*

A Teoria dos Períodos Cognitivos de Piaget pode ser resumida da seguinte forma:

Períodos	Sub-períodos	Estágios	Idade cronológica aproximada
Inteligência Sensorial Motora		1. Uso de reflexos	0, 1 mês
		2. Primeiros hábitos e reações circulares primárias	1 a 4,5 meses
		3. Coordenação da visão e apreensão, reação circular secundária	4,5 a 8-9 meses
		4. Coordenação de esquemas secundários e sua aplicação a novas situações	8/9 a 11/12 meses
		5. Diferenciação de esquemas de ação, Reação circular terciária. Descobertas de novos meios	11/12 a 18 meses
		6. Primeira internalização dos esquemas e solução de alguns problemas por dedução	18 a 24 meses
Inteligência representativa e o período das operações concretas	A. Representações pré-operacionais	1. Aparecimento das funções simbólicas e começo da ação internalizada, acompanhada de representação	2, 3,5 a 4 anos
		2. Organizações representativas baseadas em configurações estáticas ou em assimilação à ações próprias	4 a 5,5 anos
		3. Regulações representativas articuladas	5,5 a 7,8 anos
Inteligência representativa e operações formais	B. Operações concretas	1. Operações simples (classificação, seriação, etc.)	8 a 9,10 anos
		2. Sistemas totais (coordenadas euclidianas, conceitos projetivos, simultaneidade)	9 a 10, 11 anos
Inteligência representativa e operações formais		1. Lógica hipotético dedutiva e operações combinatórias	11,12 a 13,14 anos
		2. Estruturas de reticulado e o grupo de quatro transformações	13 a 14 anos

Figura 3.9 Resumo dos estágios evolutivos de Piaget

### Estágio 1; de 0 a 1 mês

Corresponde aos atos reflexos. O bebê fecha a mão em resposta a um toque na palma ou suga alguma coisa que toca seus lábios. Estes esquemas são exercitados ou em resposta ao estímulo apropriado ou espontaneamente, a título de brincadeira ou prática.

Existem reflexos que praticamente permanecem inalterados desde o nascimento até a morte, como, por exemplo, o reflexo pupilar, bem como os que desaparecem normalmente ao decorrer dos primeiros anos de vida. No entanto, há outros como o de sucção, preensão, os reflexos de acomodações visuais e movimentos de olhos, de audição e formação, nos quais mudanças são óbvias e que são os de maior importância para a psicologia pois vão se desenvolver em comportamentos complexos. Esses reflexos, que levam à aprendizagem, exibem circularidade intrínseca, ou seja, repetem-se várias vezes; **assimilação funcional**. Por assimilação funcional ou repetição cumulativa se entende que a própria repetição do reflexo possibilita sua maior eficiência, isto é, permite sua função se exerça plenamente, da melhor forma possível.

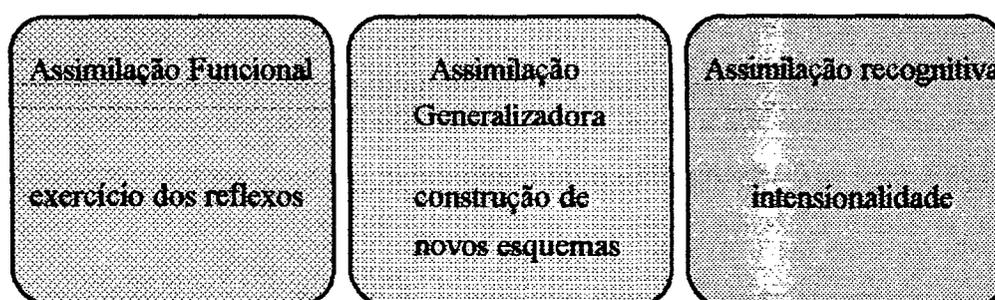


Figura 3.10 Mecanismos construtores do primeiro estágio

O desenvolvimento desses esquemas primitivos exhibe generalização e diferenciação. A criança suga qualquer coisa que lhe chegue à boca; **assimilação generalizadora**, seja o bico do seio materno seja um brinquedo, o dedo, etc. Quando sente fome, no entanto, a criança chora se o que tem na boca não é o seio materno; **assimilação recongnitiva**. O **resultado** desejado da ação de um esquema afeta o seu curso. Os esquemas admitem modificações decorrentes de resultados obtidos pela experimentação. Após várias tentativas desordenadas, a criança aprende que quando o bico do seio toca a bochecha esquerda ela deve virar a cabeça para a esquerda se quiser sugar.

O modelo do mundo para a criança consiste em espaços visuais, o que é detectado pela visão; espaços manuais, o que pode ser alcançado pela mão; espaço bucal, etc. A criança não consegue, ainda, agir coordenadamente sobre os diversos estímulos sensoriais. No *estágio 1*, exercício dos reflexos, há uma estabilização, generalização dos reflexos, que se tornam mais discriminadores, embora limitados sempre aos resultados finais hereditariamente determinados.

Uma modelagem computacional dessa fase consiste numa representação do mundo em diversos espaços independentes; estados sensoriais, sobre os quais podem atuar esquemas; ações motoras.

### Estágio 2; de 1 a 4 meses

Desenvolvimento dos primeiros hábitos. Início de condicionamentos estáveis e reações circulares 'primárias' como chupar o dedo. Os padrões de ação que correspondem à diferenciação gradual dos esquemas reflexos são chamados de *reações circulares<sup>2</sup> primárias*.

Por exemplo, o esquema reflexo de pegar origina o esquema alternativo de pegar e depois largar. Como ocorre com os esquemas primitivos, a ação é repetida havendo ou não havendo o estímulo 'presença de um objeto'.

*A reação circular é, pois, um exercício funcional adquirido, que prolonga o exercício reflexo e tem como efeito alimentar e fortificar não já um mecanismo inteiramente montado, apenas, mas todo um conjunto sensorio motor de novos resultados, os quais foram procurados com a finalidade, pura e simples, de obtê-los. Como adaptação, a reação circular implica, segundo a regra, um pólo de acomodação e um pólo de assimilação" (Piaget, 1975).*

A distância entre os diversos estados sensoriais vai diminuindo. A criança pega o objeto que vê, tenta levá-lo à boca. Inicialmente, por acidente, o movimento aleatório da mão conduz o objeto às vizinhanças do espaço bucal e a criança começa a sugá-lo. Piaget distingue um número de metas que definem esse estágio de desenvolvimento. A criança:

- ⊙ Observa o movimento de suas mãos e, gradualmente, aprende a trazê-la para o seu campo visual, mantendo-a aí enquanto a observa.
- ⊙ Observa-se enquanto segura e solta um objeto.
- ⊙ Se volta para observar um objeto que tocou sua mão, ou move o objeto para o seu campo visual para observá-lo.
- ⊙ Se o objeto e a sua mão estão dentro do campo visual, move a mão para pegar o objeto.

A adaptação adquirida, contrariamente à adaptação hereditária, supõe uma aprendizagem relativa aos dados novos do meio externo. Os processos de assimilação e acomodação, não propriamente presentes anteriormente, começam a se dissociar.

Em termos computacionais o mundo, agora, passa a possuir uma nova entidade: O objeto. Objetos desaparecidos são como quadros que aparecem e desaparecem e, quando desaparecem, deixam de existir. Coordenações entre os diferentes espaços definem relações.

---

<sup>2</sup>a palavra circular é usada para lembrar a repetitividade do processo

### Estágio 3; de 4 meses e meio a 8-9 meses

Coordenação da visão e da apreensão e começo das reações circulares 'secundárias', ou seja, aquelas relativas aos corpos manipulados; chupar o dedo da mãe, etc. Busca dos objetos desaparecidos; diferenciação entre fins e meios.

A reconstituição ordenada de ações que reproduzem algum resultado inicialmente obtido de forma fortuita é chamada de *reações circulares secundárias*. O uso de esquemas envolvendo vários sentidos e as cadeias mais complexas de ações caracterizam esse tipo de reações. São exemplos desse estágio:

- ⊙ As mãos da criança atingem um 'mobile'. A criança vê o 'mobile' se mexer e repete o gesto várias vezes, desenvolvendo o esquema de atingir.
- ⊙ Puxando os cordões de um fantoche, a criança percebe o movimento e, olhando o boneco, repete o gesto, esperando, como resultado, o movimento. A natureza causal; puxar o cordão e o boneco se mexer, e espacial; as relações espaciais entre o cordão e o boneco, não são percebidas pela criança que generalizará o movimento para situações inapropriadas.

Nestas reações a criança responde rapidamente a um resultado novo, usando algum esquema familiar para reproduzir o resultado, ainda que tal esquema nunca tenha sido empregado para aquele objetivo. A despeito disso, o efeito é descoberto por acidente e não por raciocínio e somente aquele esquema particular envolvido no acidente é empregado.

Esse estágio é considerado uma fase de transição entre os atos denominados pré-inteligentes e os propriamente inteligentes. Há domínio da assimilação sobre a acomodação. Temos acomodação porque a criança terá que fazer esforço para reproduzir as condições na qual obteve um resultado interessante o mobile se mover, por exemplo.

A intenção está muito vinculada a própria ação. Não há uma distinção nítida entre meios e fins. A permanência do objeto no mundo é mais longa, embora ainda não ocorra uma busca ativa. Já existe uma busca, muito embora seja restrita apenas à trajetória do movimento ou à ação em curso.

### Estágio 4; de 8-9 até 11-12 meses

Coordenação dos esquemas secundários empregando meios conhecidos para atingir um objetivo novo. Pesquisa de objetos desaparecidos sem coordenação dos deslocamentos.

Neste estágio encontramos as condutas propriamente inteligentes no sentido em que há uma verdadeira diferenciação entre meios e fins. As capacidades desenvolvidas são:

- ⊙ *Busca sistemática*. Quando a criança deixa cair um objeto, sua mão não apenas se moverá para baixo para encontrá-lo como no estágio anterior, mas também se moverá perpendicularmente explorando a vizinhança imediata.

- ⊗ *Rotação sistemática.* A criança é capaz de recuperar a parte de um objeto que se acha escondida, por exemplo uma garrafa com o fundo voltado para a criança de forma que ela não veja o gargalo.
- ⊗ *Exploração perspectiva.* A criança olha por detrás de algum obstáculo.
- ⊗ *Imitação* de movimentos familiares mas invisíveis. Durante o terceiro estágio, somente ações visíveis, produzidas por esquemas existentes, são imitadas.
- ⊗ *Exploração sistemática de novidades.* Quando se apresenta um objeto novo, a criança chocalha, bate, roda o objeto, etc.



*Figura 3.11 Construção das primeiras heurísticas de construção. O mecanismo atuando sobre si mesmo*

A despeito desses avanços, a representação da realidade durante o quarto estágio ainda exibe muitas limitações no que tange à subjetividade. Se escondemos uma bola sob um objeto situado a direita e o bebê descobre, ao escondermos a bola sob uma toalha situada à esquerda, o bebê vai procurar a sua direita e se mostrará surpreso por não encontrar aí a bola que procurava. Combinações envolvendo mais de dois objetos ainda são intratáveis pela criança.

Ocorre, portanto, um avanço considerável quanto à noção de permanência dos objetos. Este continua existindo mesmo que não esteja acessível às modalidades sensoriais e a criança acredita que ele poderá ser sempre encontrado no local onde desapareceu pela primeira vez. Apesar de não se ter, ainda, o advento definitivo da noção de objeto, ocorre uma coordenação entre a permanência visual e a permanência tátil.

### Estágio 5; de 11-12 meses até os 18 meses

Diferenciação dos esquemas de ação por reação circular terciária, ou seja, pela variação das condições por exploração e tateamento dirigidos e descoberta de meios novos. A criança tira um pano para revelar o objeto escondido. Considera-se esse estágio como aquele em que se observa as formas mais elevadas de atividade comportamental antes do aparecimento da capacidade de representação interna.

*Reações circulares terciárias* consistem em pequenos experimentos feitos pela criança com o objetivo de ver o que determinado objeto fará. Há uma mudança de 'centro'. A criança em vez de prestar atenção na ação como no estágio anterior, se concentra no objeto, em como ele se comporta. A resposta não se origina mais de resultados surpreendentes. Esses resultados, agora, são provocados pela criança.

A atitude de experimentação e a busca de novidade caracterizam essas reações terciárias como inovadoras posto que: há repetição dos movimentos com variação e graduação sendo que a repetição visa mais a uma compreensão do resultado do que apenas a chegar ao mesmo fim.. Pode ser considerada como equivalente à estratégia tentativa e erro enquanto a reação circular secundária se assemelha à solução acidental de um problema. Da mesma forma que as reações secundárias, as reações terciárias podem ser coordenadas com outros esquemas numa relação meio-fim. Do ponto de vista de um observador, a coordenação desses esquemas resulta numa ampliação significativa da capacidade intelectual da criança. Para Piaget o que ocorre é:

- quantitativamente um grande número de esquemas podem ser trazidos para lidar com uma determinada situação; e
- qualitativamente, o alto nível de abstração pelo qual os esquemas representam, nesse estágio, as coisas, se focam, agora, nos objetos, permitindo que os mesmos princípios de interação de esquemas conduzam a resultados mais sofisticados.



*Figura 3.12 Construção das primeiras heurísticas para solução de problemas*

Esses desenvolvimentos se somam na concepção, pela criança do que sejam objetos e espaço. Através das reações circulares terciárias atribui-se aos objetos um comportamento autônomo e a direção de tais reações em direção a objetivos envolvendo um segundo objeto ensina a criança acerca da solidez dos mesmos e das relações entre eles.

Como exemplo de comportamento nessa fase podemos citar a criança que, para pegar um carrinho de plástico que se encontra fora do seu campo de apreensão, é capaz de utilizar um bastão que esteja ao seu alcance para atraí-lo para perto de si e então pegá-lo

### Estágio 6; de 18 à 24 meses

Começo da interiorização dos esquemas e solução de alguns problemas com parada de ação e compreensão brusca. Generalização do grupo prático dos deslocamentos com incorporação de alguns deslocamentos não perceptíveis.

O sexto estágio fornece evidências da simulação mental de eventos. A criança se torna, agora, capaz de interpretar situações cujo entendimento requer a representação de eventos que não são observados, só podem ser imaginados. Ocorre um processo de interiorização.

A capacidade de representar seu próprio corpo em termos espaciais objetivos, a criança aponta a direção de uma coisa que não está a vista, e o surgimento da linguagem formam a ponte entre o período sensório motor e os seguintes.

Através do período sensório motor, a inteligência da criança se volta para os efeitos das ações sobre a realidade presente. Mesmo as primeiras manifestações da linguagem, ao fim do período, se restringem a expressar desejos e comandos e não idéias.

☞ *Período 2; vai de 2 anos até os 11-12 anos.*

Preparação e Organização das Operações Concretas de Classes, Relações e Número. Operações concretas são aquelas que se dirigem sobre objetos manipuláveis. Operações formais são aquelas que atuam sobre hipóteses, etc. Este período é dividido por Piaget em dois sub-períodos; o de preparação funcional das operações e o de estruturação dessas operações.

→ *Sub-Período 2.1, dos 2 até cerca de 7 anos de idade, estágio pré-operacional.*

Conquistado o mundo através do desenvolvimento do que Piaget denomina por inteligência prática, o desenvolvimento da linguagem vai permitir que um novo tipo de esquemas seja formado. Aos esquemas sensório motores do primeiro período vão se somar, agora, os esquemas simbólicos.

O desenvolvimento ocorre no sentido do sujeito adquirir uma determinada visão do mundo que o cerca, que lhe permita um estado de adaptação e de equilíbrio em relação às situações às quais está continuamente exposto. Ocorre um predomínio da assimilação sobre a acomodação. A criança confunde pensamento lógico com fantasia. O pensamento da criança pré-operacional é egocêntrico. Predomina uma visão do mundo que parte do próprio eu. Não consegue 'pensar seu próprio pensamento', só vivenciá-lo. Suas explicações e suas crenças baseiam-se numa mistura de impressões reais e fantásticas que resultam num entendimento distorcido da realidade.

O pensamento pré-operacional não consegue organizar seus elementos em sistemas coerentes. A criança não é capaz de entender o conceito de classe, justamente por não perceber as inter-relações que existem entre os vários elementos. Piaget diz que neste período a criança forma apenas pré-conceitos. O raciocínio da criança vai do particular para o particular ligando diversos desses pré-conceitos por um 'e' e não por um 'porque'. Essa 'raciocínio transdutivo' caracteriza-se mais por uma agregação do que por alguma lógica. Piaget denominou de sincretismo essa característica do pensamento egocêntrico de estabelecer conexões entre atos ou fatos que não estão logicamente conectados.

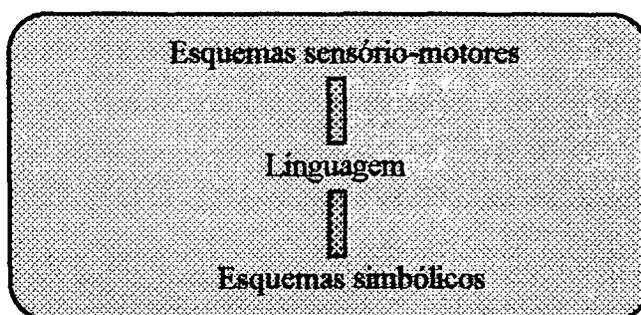


Figura 3.13 A passagem dos esquemas sensorio-motores aos esquemas simbólicos

O raciocínio é centralizado, rígido e inflexível. Para a criança não existe ainda o conceito de invariância, isto é, que os objetos tenham identidade própria independente de mudanças em sua aparência e, portanto, não se desenvolveu ainda a reversibilidade.

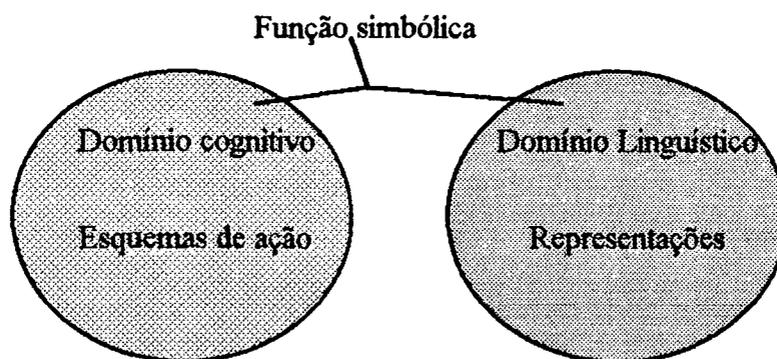
Diz-se que um pensamento é reversível quando "*é capaz de percorrer um caminho cognitivo, seguir uma série de raciocínios, uma série de transformações num determinado evento, e então inverter mentalmente a direção, para reencontrar um ponto de partida não modificado - a premissa inicial, o estado inicial do evento, etc.*" (Flavell, 1975, p. 161)

No sub-período pré-operacional existem dois planos de realidade, o do **brinquedo**, no qual os dados do mundo são assimilados ao eu da criança com predomínio da fantasia e o da observação quando ocorre acomodação, isto é, o eu da criança se submete aos dados do mundo externo.

Nele a criança aprende a representar o mundo por meio de sinais e símbolos, isto é, imagens e palavras. Reorganiza constantemente seu retrato do mundo através de brinquedos imaginativos, conversação, indagação, audição e experimentação. Durante os dois últimos anos deste período avança para o estágio de operações concretas. Piaget divide esse sub-período em três estágios:

### Estágio 7; de 2 a 3 anos e meio ou 4

Surge a função simbólica e começa a interiorização dos esquemas de ação sob a forma de representações. Esse é um dos estágios mais difíceis de serem modelados porque não é possível interrogar a criança antes dos 4 anos numa conversa seguida. Nesse período surge a função simbólica; linguagem, jogos simbólicos de imaginação; os planos de representação do conhecimento, com dificuldades quanto ao tempo não presente, causalidade, espaço não vizinho, etc.



*Figura 3.14 A construção das representações*

### Estágio 8; de 4 a 5 anos e meio

Organizações representativas são estabelecidas seja sobre configurações estáticas, seja sobre uma assimilação à própria ação. A criança pensa nos estados como configurações que podem ser perceptivas, das coleções figurais, etc. Neste nível de não conservação dos conjuntos, das quantidades, etc., as transformações são assimiladas às ações.

### Estágio 9; de 5 anos e meio à 7-8 anos

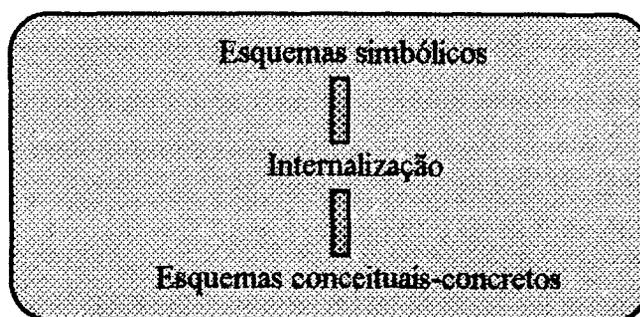
Regulações representativas articuladas. É a fase intermediária entre a conservação e a não conservação. Começo de ligação entre os estados e as transformações. Articulação crescente das classificações, das relações de ordem, etc.

O crescimento cognitivo é um processo lento durante o qual a criança, a princípio completamente dependente da ação e da percepção, se torna cada vez mais capaz de contar com o pensamento, à medida que constrói estruturas mentais de tempo, espaço, número, causalidade e classes lógicas, através das quais pode organizar suas experiências passadas, presentes e futuras.

Piaget chama a esse processo de "descentralização" porque envolve o tornar-se a pessoa progressivamente menos presa ao aqui e agora e assim capaz de mover-se livremente, em pensamento, entre passado e futuro. Um marco desse crescimento é a capacidade de colocar-se no lugar de outra pessoa, sair do egocentrismo, e pensar do ponto de vista desta.

✦ *Sub-Período 2.2, de 7 a 11 anos de idade, estágio de operações concretas*

A energia da libido neste período de latência afetiva vai, praticamente, se concentrar no desenvolvimento cognitivo do indivíduo. O egocentrismo intelectual vai gradativamente cedendo espaço ao pensamento lógico. Os esquemas simbólicos, característicos do sub-período anterior se tornam, agora, em esquemas conceituais concretos, verdadeiros esquemas mentais onde a realidade passa a ser estruturada pela razão e não mais pela assimilação egocêntrica. As ações físicas, típicas da inteligência sensório-motora passam a ser internalizadas, ou seja, passam a ocorrer mentalmente.



*Figura 3.15 A passagem dos esquemas simbólicos aos esquemas conceituais concretos*

Neste sub-período, é quando a criança pode lidar com as propriedades do mundo que imediatamente a envolve, formando gradualmente as idéias de conservação de matéria e comprimento primeiro, de peso e volume mais tarde, e assim por diante. A operação é um meio de organizar fatos já internalizados sobre o mundo real, de modo que eles possam ser usados seletivamente na solução de novos problemas. A 'linguagem egocêntrica', aquela que prescinde de um interlocutor cede lugar a 'linguagem socializada'. Do ponto de vista moral julga-se, agora, as intenções e não os atos. É caracterizada por uma série de estruturas em vias de acabamento que podem ser estudadas de perto e analisadas em sua forma. No plano lógico são construídos o que Piaget chama de 'agrupamentos' e que estudaremos com mais profundidade no capítulo relativo às diversas lógicas humanas. Os agrupamentos ainda não são 'grupos' e também não são 'redes', são semi-redes, por falta de limites inferiores para umas ou limites superiores para outras.: tais são as classificações, as seriações, as correspondências termo a termo, as correspondências simples ou seriais e as operações multiplicativas (matrizes). Piaget acrescenta nesse ponto, no plano aritmético, os grupos aditivos e multiplicativos, os números inteiros e fracionários. Pode ser dividido em dois estágios:

**Estágio 10; até os 9-10 anos** Denominado Período das Operações Simples.

Para Piaget (1978, p.182), "*o jogo de regras é a atividade lúdica do ser socializado*". No final da fase pré-operacional as crianças observam atentamente os jogos dos mais velhos. Nesta fase as crianças seguem as regras aprendidas rigidamente como se estivessem sendo ditadas por alguma autoridade inquestionável. Verifica-se, ainda, maior preponderância da assimilação sobre a acomodação.

O raciocínio transdutivo, peculiar a fase anterior, passa a ser substituído de forma gradativa por outro mais adaptativo onde se conquistou a reversibilidade. Usando as próprias palavras de Piaget (1967, p. 168): "*Uma operação mental é reversível quando, a partir do resultado dessa operação, se pode encontrar uma operação simétrica com relação a primeira e que leva de volta aos dados dessa primeira operação, sem que estes tenham sido alterados*".

Além do conceito de reversibilidade é importante se entender o conceito de invariância ou conservação, que é a operação lógica pela qual o sujeito mantém magnitudes e relações apesar de deslocamentos ou transformações perceptuais de qualquer natureza. A conservação implica na presença de um sistema de referência fixo, independente da percepção, da representação e da informação linguística. Depende de esquemas conceituais verdadeiros, de um referencial coerente e organizado de crenças.

A aquisição da noção de conservação é um processo gradual, que tem início na fase sensorial motora, com a permanência dos objetos e vai sendo construída. Nesta fase a criança adquire a noção de conservação da quantidade e do número; 7 anos e de peso; 8-9 anos. A formação da personalidade começa a aparecer por volta dos 8 anos quando a criança começa a construir uma hierarquia de valores e a exercer sua vontade no sentido de regular seu comportamento.

### Estágio 11; até os 11 anos

A criança começa a modificar as regras dos jogos, desde que haja concordância entre os companheiros e mesmo a criar regras novas. Isto significa uma maior flexibilidade quer em termos intelectuais quer em termos sociais. Desenvolve-se a noção de conservação de volume e dá-se o acabamento de certos sistemas de conjunto no domínio do espaço e do tempo, em particular.

#### *Período 3, atingido entre 12 e 15 anos de idade estágio das operações formais*

O primeiro período correspondia à função semiótica que, com a subjetivação da imitação em imagens e a aquisição da linguagem, permitiram a condensação das ações sucessivas em representações simultâneas. O segundo período, o do início das operações concretas, ao coordenar as antecipações e as retroações, chegaram a uma reversibilidade; desenvolvimento da inversão ou negação N e a reciprocidade R, o que permitiu o conceito de tempo e garantiu a conservação dos pontos de partida. Mas, se se pode, neste particular, falar já de uma mobilidade conquistada sobre a duração, esta permanece ligada a ações e manipulações que em si são sucessivas, pois que se tratam, de fato, de operações que continuam "concretas", isto é, que recaem sobre os objetos e as transformações reais.

Com as estruturas operatórias formais que começam a se constituir por volta dos 11, 12 anos, chegamos à terceira grande fase do processo que leva as operações a se libertarem da duração, isto é, do contexto psicológico das ações do sujeito.

O conhecimento ultrapassa o real para inserir-se no possível e para relacionar diretamente o possível ao necessário sem a mediação indispensável do concreto. Trabalha-se sobre hipóteses e não mais sobre objetos.

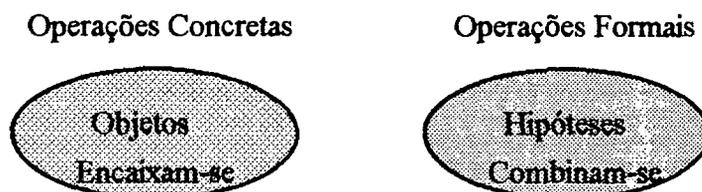


Figura 3.16 Passagem à fase das operações formais

No período anterior tanto os esquemas conceituais como as operações mentais realizadas se referiam a objetos ou situações que existiam concretamente na realidade. Na adolescência, esta limitação deixa de existir e o sujeito é capaz de construir esquemas conceituais abstratos, ou seja, conceituar termos como amor, democracia, honestidade, etc. Pode-se fazer livre uso de raciocínio hipotético.

Durante esse estágio as crianças estão aprendendo a atacar problemas sob o ângulo de todas as combinações possíveis e são capazes de efetuar experimentações controladas, nas quais podem observar o efeito de alterar uma ou mais variáveis de cada vez. Piaget subdivide esse período nos seguintes estágios:

### Estágio 12; até os 13 anos

Surgem as operações combinatórias onde, inicialmente, só existiam as operações de encaixe. O que os matemáticos chamam de conjunto das partes é a base dessas combinações. Essa combinação engendra a estrutura de rede (reticulado). Aparecem as proporções, a capacidade de raciocinar e de se representar segundo dois sistemas de referência ao mesmo tempo, as estruturas de equilíbrio mecânico, etc.

Na combinatória duas proposições atômicas são dadas ao adolescente, do tipo:  $p = \text{Sócrates é um filósofo}$  e  $q = \text{todo filósofo gosta de meditar}$ . Tanto a proposição 'p' como a proposição 'q' podem assumir, na vida real, valores verdadeiros ou falsos. Combinando as diversas possibilidades, o adolescente é capaz de formular e testar suas hipóteses, construir suas crenças, etc.

### Estágio 13; após os 14 anos

O grupo de quatro transformações INRC, grupo quaternário, grupo de Klein, e o reticulado combinatório permitem a capacidade de se raciocinar sobre hipóteses, enunciados e não mais somente sobre objetos postos sobre a mesa ou imediatamente representados. Nesse último nível, segundo Piaget, surge a Lógica das Proposições.

A criança, no período das operações concretas, já era capaz de executar duas operações que caracterizam o pensamento reversível. A primeira delas é a inversão ou negação de uma determinada ação e a segunda é a reciprocidade, ou compensação. A inversão caracteriza os agrupamentos de classe e a reciprocidade caracteriza os agrupamentos de relação.

Passar a água do copo A para o copo B (operação +A) pode ser invertido ou negado (pela operação -A), isto é, pode-se retornar a condição inicial passando a água do copo B para o A. Pela inversão ou negação N chega-se a anular um termo, por exemplo, +A composta com -A = 0, ou operação nula.

A quantidade de água do copo A permanece a mesma quando é transferida para o copo B porque "se um é mais fino e mais comprido o outro é mais grosso e baixo". Pela reciprocidade, ou compensação. Seja fixo = X1, comprido = X2, grosso = Y1, baixo = Y2, então X1 composta com X2 = Y1 composta com Y2.

No operatório concreto, as duas formas de reversibilidade permanecem isoladas: a negação ou inversão atuando sobre o sistema de classes e a reciprocidade ou compensação dominando os sistemas de relação. No período das operações formais, as duas formas de reversibilidade passam a constituir um sistema conjunto surgindo, assim, quatro transformações possíveis: a direta ou de identidade, a inversa ou negação, a recíproca ou compensação e a inversa da recíproca que é também correlativa da identidade.

Tomemos, por exemplo, as duas proposições atômicas:  $p = \text{Ir a festa}$  e  $q = \text{Sair de casa}$ . A Hipótese "Ir a festa é causa de sair de casa" pode ser expressa pela implicação lógica  $p \rightarrow q$ . Na realidade, quatro coisas podem acontecer (Rappaport, 1981):

Vou a festa e saio de casa	Identidade	$p \wedge q$
Vou a festa mas não saio de casa	Negação	$p \wedge \sim q$
Saio de casa e vou a festa	Recíproca	$q \wedge p$
Saio de casa e não vou a festa	Correlativa	$q \wedge \sim p$

As seguintes relações podem ser estabelecidas:

I = NRC (identidade, ou negação da recíproca da correlativa)

N = RC (negação, ou recíproca da correlativa)

R = NC (recíproca, ou negação da correlativa)

C = NR (correlativa, ou negação da recíproca)

A lógica piagetiana difere da lógica clássica, onde as seguintes relações são observadas.

$p \rightarrow q$	$\sim p \vee q$	$\sim q \rightarrow \sim p$	$q \vee \sim p$
V V V	$\sim V$ V V	$\sim V$ V $\sim V$	V V $\sim V$
V F F	$\sim V$ F F	$\sim F$ F $\sim V$	F F $\sim V$
F V V	$\sim F$ V V	$\sim V$ V $\sim F$	V V $\sim F$
F V F	$\sim F$ V V	$\sim F$ V $\sim F$	F V $\sim F$

Tem-se então um grupo comutativo,  $NR = C$ ; *Sair de casa e não ir a festa é equivalente a inversa de sair de casa e ir a festa*.  $CR = N$ ;  $CN = R$  e  $NRC = I$ ; volta-se a origem). Ao grupo INRC corresponde, entre outras coisas, a compreensão de um conjunto de estruturas físicas como a ação e reação, etc.

Todos os aspectos do egocentrismo da adolescência vão desaparecer à medida que a assimilação egocêntrica for dando lugar à acomodação: o pensamento formal aos poucos harmoniza-se com a realidade. *"O equilíbrio é obtido quando o adolescente entende que a principal função da reflexão não é contradizer mas sim prever e interpretar a experiência. Este equilíbrio formal supera marcadamente o equilíbrio do pensamento concreto porque não abrange somente o mundo real, mas também as construções indefinidas da dedução racional e da vida interior"* (Piaget, 1969).

### 3.4.5 Conclusão

*"A razão, que é expressão das mais altas formas de equilíbrio, reúne afetividade e inteligência"* (Piaget, 1969)

A afetividade, pela regulação do fluxo de energia impresso a cada comportamento, dá a "qualidade da ação". O fluxo é tanto mais intenso quanto maior for o sentimento de necessidade ou carência, em outras palavras, quanto maior for o desequilíbrio.

Piaget percebe a existência de uma impressionante homogeneidade entre os aspectos cognitivo, pensamento, raciocínio e linguagem; afetivo; social e ético, julgamento moral. Isto significa que, para cada nível de desenvolvimento estes diferentes aspectos da vida mental apresentam características semelhantes, estruturadas da mesma forma.

A forma pela qual Piaget estuda o desenvolvimento moral das crianças é singular. Através do jogo de bolas de gude verificou a relação entre comportamentos tais como roubar, mentir, enganar, etc. no jogo, com o desenvolvimento moral.

Para os que buscam trabalhar sobre as hipóteses piagetianas, construindo máquinas que funcionem de acordo com os fundamentos construtivistas do mestre suíço, alguns temas centrais não podem ser esquecidos:

- ⊙ A inteligência se desenvolve pela construção de espaços de estado que representam o mundo, o que é obtido quer pela descoberta de como estados e transformações se relacionam quer pela construção de novos elementos e transformações desse espaço cujas relações, de novo, devem ser descobertas.
- ⊙ Novos esquemas se formam por diferenciação incremental ou generalizações de esquemas existentes.
- ⊙ Esquemas podem ser coordenados para formar estruturas compostas cujo nível de abstração é superior a de seus elementos componentes.

- Uma forma importante de abstração corresponde ao conceito de conservação; a descoberta de um novo tipo de coisa no mundo, descoberta pela observação de que é possível se retornar a alguma manifestação dessa coisa.
- O desenvolvimento da inteligência envolve a montagem de conceitos a partir de casos especiais, fragmentos. Muitos conceitos aparentemente atômicos, fundamentais, são, de fato, compostos por um grande número de esquemas constituintes.
- A todo processo de equilibração/desequilibração está associado um fluxo de energia (afetividade) que dá a 'qualidade da ação'.

### 3.5 Dimensão Espiritual

Segundo Thomas Hobbes (1588 -1679) e Hume (1711 - 1776), a crença nos deuses teria surgido, quando o homem primitivo personalizou as forças desconhecidas, que controlavam a natureza e lhes ofereceu uma forma de culto, com o objetivo de aplacá-las. Feuerbach (1804 - 1872) defende, como Freud (1856 - 1939), que a idéia de Deus não passa de uma ilusão inventada pelos homens, para simbolizar quer qualidades individuais, quer o conceito primitivo do Pai humano.

Numa abordagem piagetiana da religiosidade 'acreditamos' que a mesma seja construída pelos mecanismos evolutivos. Na África, de forma a regular a temperatura, cobrir as feridas e tratar de ataques por parasitas, os elefantes rolam na lama. Quando encontram outro que esteja doente, tentam aplicar lama ou oferecem comida. Quando o animal morre continuam a proceder da mesma maneira, até o cadáver estar todo coberto.

Parecem demonstrar uma consciência da morte, enterrando seus congêneres com barro, terra e folhas. Praticam 'adoração à lua', comportamento esse que consiste em agitar ramos de árvore na 'lua crescente' e engajamento em banhos rituais, quando a lua está cheia.

O etologista Eugene Marais descreveu um comportamento misterioso e quase religioso, entre os babuínos sul africanos; eles, ritualmente, se amontoam quando o sol se põe e, olhando para o poente, observam um período de silêncio. Quando o sol desaparece no horizonte ouve-se, de todos os cantos, um som que traduz um lamento, som que só é emitido em situações de grande tristeza, como a morte. Comportamento semelhante foi registrado em macacos da Ilha de Madagascar.

A religiosidade nos animais nos leva a propor que a 'crença' em uma natureza transcendente é parte da dinâmica evolutiva e que, tal sentimento, no homem, é, seguindo-se Piaget, ao mesmo tempo inato, na medida em que está associado à evolução, e construído pelas interações com a família e a cultura em que se vive, dependente, ainda, dos mecanismos de equilibração que pretendemos modelar. A dimensão espiritual é parte integrante do ambiente em que se expressa a entidade autopoiética 'homem'.

Em aplicações do modelo que se está desenvolvendo é tecnicamente incorreto ignorar a dimensão espiritual de uma entidade autopoietica. O trabalhador que tem uma 'crença' se comporta, no piso de fábrica, de forma diferente do que em nada 'crê'. Se quisermos criar modelos eficientes, capazes de prever comportamentos, é preciso abandonar a separação entre sagrado e profano que vem desde o advento da ciência e que permanece ainda hoje sustentada pelo ranço positivista e partir para uma modelagem 'de engenheiro' onde, pragmaticamente, sem discutir filosoficamente o que seja 'verdade', se parte para se reproduzir aquilo que se vê, que se constata na prática do cotidiano e que é útil na medida em que os resultados obtidos sejam mais corretos.

As pessoas se comportam segundo crenças e, embora seja impossível dizer que tal comportamento seja exclusivamente devido a aspectos físicos, afetivos, cognitivos ou espirituais, o fato é que todos esses fatores se misturam para afetar o comportamento.

Quando tentamos no entanto, a exemplo do que fizemos para as dimensões físicas, afetivas e cognitivas, uma teoria que possa servir de base para a modelagem computacional que nos propomos a desenvolver, esbarramos na ausência de teorias consagradas, mesmo que discutidas, posto que, em ciência, se ignora essa realidade, a de que o indivíduo crê e que as crenças do indivíduo são, talvez, o fator mais importante associado aos conceitos de comportamento, qualidade de vida, satisfação no emprego, etc.

Como explicar que um alfaiate indiano, trabalhando em péssimas condições de trabalho, com baixo salário e sem perspectivas de futuro possa se sentir 'feliz e satisfeito'?

Elegemos, como base para o nosso modelo, os trabalhos em Física do Dr. David Bohm; os estudos em Psicologia Holística de John C. Pierrakos que dirige o "*Institute for new age*", em New York e da MSc Ann Brennan; as pesquisas do Dr. Hiroshi Motoyama, Ph. D. em Filosofia e Psicologia clínica e os modelos do engenheiro Hernani G. de Andrade, do Instituto de Psicobiofísica de São Paulo.

Existe uma energia, que Freud chamou de libido e que Piaget defende que é a impulsionadora do mecanismo de equilíbrios, a qual atua em todos os níveis: físico, afetivo e cognitivo; definindo um comportamento. Este campo de energia associado a toda entidade autopoietica reflete a história física, cognitiva e afetiva de cada individualidade sendo, portanto, ele mesmo, único. Pode-se ver, portanto, o 'eu', como estando imerso num campo de energias que é o somatório de todos os campos individuais com o qual a entidade se acopla acrescido aos provenientes do meio ambiente em que ela se desenvolve.

Como resposta a esta interação, o 'eu' constrói mecanismos de defesa, como definidos por Freud, para bloquear / aceitar a circulação dessas energias externas dentro do seu próprio campo que, por sua vez, é construído também como resultado da atuação de um mecanismo de equilíbrio homeostático.

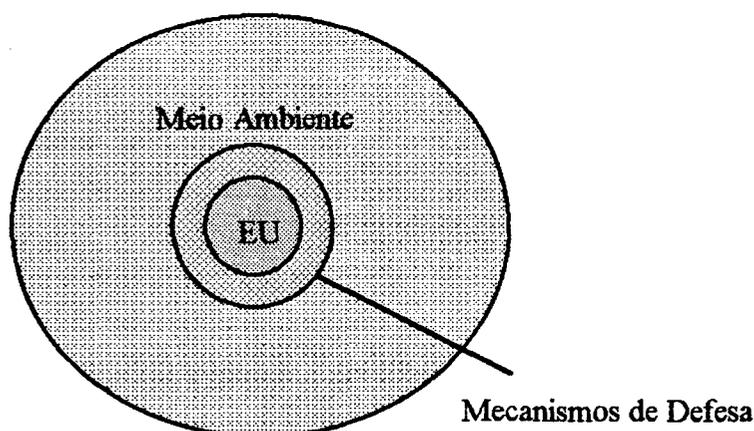


Figura 3.17 Acoplamento do 'Eu' com o meio ambiente onde se expressa

Reagimos ao calor, aos campos eletrostáticos, magnéticos, eletromagnéticos, sônicos e visuais. Essas frequências são recebidas e transmitidas por nós e fazem parte desse campo de energias que tentamos definir.

Outras frequências devem existir para que se possa explicar, por exemplo, o 'efeito do décimo macaco', ou seja, a experiência que comprova que quando um número crítico de indivíduos de uma determinada espécie adquire um conhecimento, no caso o de lavar batatas jogadas na areia antes de comê-las, o mesmo se espalha de forma que independe da distância geográfica (Harris, p.65). Uma conjectura válida e passível de ser simulada em computador é a de que, da mesma forma como somos entidades autopoieticas, fazemos partes de sistemas autopoieticos de maior ordem e estamos acoplados quer como indivíduos quer como células de entidades mais complexas ao meio ambiente e que o mecanismo de equilíbrições atua em nós, diretamente, como individualidades que somos e, indiretamente, como partes de individualidades abrangentes como família, clã, membros de uma cidade, espécie, etc.

Para modelar a forma de atuação dessas energias é preciso estabelecer, de forma clara, que energias são essas, de que natureza são os filtros que construímos para bloquear / aceitar / emitir essas energia e quais os efeitos no comportamento final do indivíduo. A resposta a essas questões, infelizmente, ainda está longe de ser obtida, o que não impede que se desenvolvam simuladores para as diversas teorias sobre o assunto. Mais do que isso, a modelagem computacional dessas teorias significa a possibilidade de uma dialética entre teoria e experimento que é fundamental para o desenvolvimento de qualquer ciência.

Em geral postula-se que a troca de energias do 'ser' com o meio se dá por pontos privilegiados do campo / corpo, tendo-se adotado a expressão oriental '*chakras*' para se definir esses pontos os quais podem ser primários, secundários, terciários, etc, em função da quantidade / qualidade de energia trocada. Por exemplo, no bico dos seios existiriam *chakras* secundários de forma que a mãe ao alimentar o filho de leite estaria, também, trocando fortemente energias com ele, o que explicaria os experimentos que demonstram um melhor crescimento de bebês amamentados 'com amor', mesmo que se use uma mamadeira, ou seja, que haja apenas um acoplamento energético, em relação aqueles alimentados por amas de leite onde nenhum sentimento é expresso.

Em termos de 'desenvolvimento' podemos imaginar que as estruturas de caráter possam ser associadas a desequilibrações no fluxo dessas energias. Wilhelm Reich descreveu cinco categorias maiores correspondendo não só ao tipo de relações entre pais e filhos mas também da idade em que a criança experimenta pela primeira vez algum trauma que faz com que construa, num mecanismo de equilibrações, mecanismos de defesa que ele chamou de couraças.

Essas categorias são gerais posto que cada individualidade escreve a sua própria história energética através das desequilibrações e equilibrações com o meio. Enquanto, para uns, os traumas vão desencadear comportamentos negativos, para outros serão vivências construtoras de características positivas da personalidade. De uma forma ou de outra essas perturbações energéticas ficam registradas nos campos individuais e afetam o comportamento. Barbara Ann Brennan (1992) postula diversas características relativas às estruturas de caráter, as quais apresentamos, resumidamente, na tabela seguinte:

Estrutura & Aspectos	Esquizóide	Oral	Psicopata	Masoquista	Rígido
Idade	Antes ou durante o nascimento	0 - 2	2 - 7	7 - 12	> 12
Modelo	Manter-se coeso	Manter-se firme	Suspender	Refrrear	Deter
Falha	Medo	Cobiça	Falsidade	Ódio	Orgulho
Linguagem	Despersonalizada	Indireta	Direta	Indireta	Sedutora
Comunica-se por	Absolutos	Perguntas	Injunções	Aversão	Qualificados
Constituição física	Alongamento	Magro	Mais pesado em cima do que em baixo	Pesado	Costas rígidas
Evoca	Intelectualização	Maternidade	Submissão	Implicância	Competição

Acreditamos que a melhor forma de modelagem computacional da dimensão espiritual seja o mecanismo de equilibrações onde, diante de um fato externo ou interno à entidade autopoiética, esquemas associados a essa dimensão competem para definir um comportamento. Esses esquemas devem ser construídos a partir da religiosidade inata e podem ser expressos empregando *Lógica Modal* com a inclusão do operador modal 'B' (believe). A forma como essa lógica seria construída seria análoga à construção dos reticulados.

Nossa pretensão, aqui, se resume a firmar a necessidade de considerar esses aspectos numa modelagem global do indivíduo. Não é intenção do autor que esta proposta seja a 'melhor' mesmo por que, nesse campo, muito pouco se tem feito da forma rigorosa com que testes tem sido conduzidos dentro do cognitivismo, das teorias de afeto e da compreensão de nossa fisiologia.

### 3.6 Conclusão

Para cada entidade autopoietica existem dois mundos: o primeiro, platónico, sede do 'real', externo, inacessível e o segundo interno, construído. Segundo Piaget a criança reelabora constantemente esse modelo interno de realidade. Cada espécie autopoietica vive num universo a parte que fica definido pelos seus limites específicos de percepção ou, como querem alguns, pelos filtros que necessita para escapar a complexidade do 'todo'. Um 'editor de mundos' é necessário, dentro de uma arquitetura computacional, se quisermos estudar como diferentes sistemas autopoieticos constroem as suas realidades.

Em artigo na Folha de São Paulo, em nov. 1993, diversos questionamentos das teses piagetianas são citadas. Segundo a psicóloga norte-americana Karen Wynn, da Universidade do Arizona bebês de cinco meses seriam capazes de executar somas e subtrações. Lewis Lipsitt, fundador do centro de estudos da criança da Brown University fala que *bebês tem uma mente tão rica e individualizada quanto os adultos*. No hospital de Beer-Sheva em Israel, aparelhos indicaram que o bebê tem um tipo de choro diferente para cada situação. Roger Lecuyer, do Centro Henri Pieron, de Paris, diz que aos três meses um bebê já consegue estabelecer categorias. Jacques Mehler, do Centro Nacional de Pesquisa Científica da França provou que, com apenas quatro dias, um bebê já é capaz de reconhecer sua língua materna.

O etnocentrismo que tenta, desesperadamente, provar que nós humanos sejamos sistemas autopoieticos diferentes e superiores faz com que se super-valorize tudo que se relacione a nós, humanos, em detrimento do que se observa com outras entidades autopoieticas. B. e A. Gardner ensinaram ao macaco Washoe a utilizar cerca de quinhentos e cinquenta símbolos com os quais formava, inclusive, frases onde por exemplo definia maçã como uma laranja vermelha. No entanto, dizem os críticos, essa experiência é artificial posto que foi estabelecida a partir da linguagem humana e a capacidade demonstrada jamais apareceria espontaneamente. Outro caso famoso (Fox, apud Rodrigues, p. 44) foi o de um cavalo na Alemanha capaz de fazer complexas operações aritméticas. Tudo fazia crer que *Clever Hans* realmente pudesse raciocinar e fazer contas. O mistério foi desvendado quando se observou que o animal não era capaz de responder longe da presença do dono. Na verdade *Clever Hans* não era um grande matemático mas um excelente terapeuta em leitura corporal e sabia que, para agradar o dono, tinha que responder com certos sinais à movimentos inconscientes e imperceptíveis do seu dono que expressavam a ansiedade que sentia toda vez que seu animal de estimação ia dar a resposta.

As conclusões da psicóloga Karen Wynn, publicada com destaque na revista Nature e assinadas por Peter Bryant, da Universidade de Oxford, uma das maiores autoridades mundiais no assunto, que considerou o trabalho 'notável' na psicologia do desenvolvimento infantil "*que mostra que o homem é capaz de executar um raciocínio matemático muito cedo*", foram baseadas no princípio, muito aceito entre os psicólogos dessa especialidade, de que bebês observam durante mais tempo resultados e fenômenos que lhes parecem errados do que aqueles que lhes parecem corretos ou naturais.

O trabalho de Piaget se suporta num construtivismo em que quatro fatores contribuem para o desenvolvimento cognitivo: o inatismo, pelo qual, de certa forma, somos o repositório de parte da história evolutiva ocorrida no planeta; os esquemas familiares e sociais que filtram e orientam as construções e o mecanismo de equilíbrio das estruturas cognitivas que vão definir a individualidade. As pesquisas citadas não contradizem Piaget mas nos fazem refletir sobre o papel dos fatores família e sociedade no processo de formação do ser.

O que chamamos de 'educação', na verdade, não passa de 'instrução', pela qual impomos nossa visão fechada do mundo, inibindo esquemas e estimulando aqueles que confirmam uma realidade construída por um sistema autopoietico de maior ordem que denominamos por 'cultura'. A visão 'kantiana' de educação que defendemos é a de que se deve explorar todas as possibilidades que um sistema autopoietico é capaz de exibir. A capacidade de se expressar pelo choro, que deve ser parecida com a comunicação por miados dos gatos, detectada em Israel; a possibilidade dos bebês de fazer leitura corporal em psicólogos do desenvolvimento infantil de forma similar a realizada por Clever Hans, são faculdades que são inibidas por um meio ambiente onde essas capacidades não são valorizadas quer do ponto de vista físico (sobrevivência), quer do afetivo, quer do cognitivo.

A criança explica o homem, diz Jean Piaget. Creio que a criança pode fazer mais do que isso, "*a criança pode ensinar o homem*". Um autista não é capaz de se comunicar de forma apropriada e, por isso, é desqualificado dentro da sociedade que, como sabem os antropólogos, valoriza-se a si própria, as suas verdades, ao seu comportamento. Esse mesmo autista, no entanto, vai para um piano e, de ouvido, executa belas sinfonias ou mesmo é capaz de produzir cálculos matemáticos extremamente complexos. Para Piaget o crescimento parte de um egocentrismo onde só existe o 'eu' para uma compreensão da existência do 'outro'. É preciso, se quisermos realmente educar, construir esses mecanismos e deixar de olhar o mundo pela nossa lente, do educador, tentando entender a realidade construída pelo educando e atuando como um facilitador permitindo que esse educando se desenvolva plenamente.

Infelizmente a realidade é outra. Fala-se no conceito de educação permanente, num método piagetiano que nunca foi plenamente desenvolvido, embora concordemos que possa ser derivado de seus estudos enquanto que, na verdade, a maioria dos bebês ainda sofrem uma instrução que perpetua os valores desse sistema autopoietico de maior ordem chamado 'sociedade' o qual, 'ainda que de maior ordem', parece ser menos complexo e desenvolvido do que muitas das individualidades que o compõem.

# CAPÍTULO QUARTO

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - PARTE III

### AQUISIÇÃO E REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

Antes de falarmos sobre as diversas maneiras pelas quais os conhecimentos são representados, precisamos considerar que estamos, sempre, lidando com três tipos muito diferentes de entidades (Rich, 1984): Fatos em si, entidades platônicas que correspondem a eventos energéticos ocorridos no Universo Real; Fatos: verdades em algum mundo relevante que se constituem nas coisas que queremos representar e Representações de fatos em algum formalismo escolhido que se constituem no que, realmente, conseguimos manipular.

Podemos pensar em estruturar essas entidades em três níveis: O *nível de realidade*, o mundo fora da caverna platônica, o *nível de conhecimento*, no qual os fatos, inclusive o comportamento e os objetivos atuais de cada agente, são descritos e o *nível do símbolo*, no qual as representações dos objetos no nível do conhecimento são definidas em termos de símbolos que podem ser manipulados por programas.

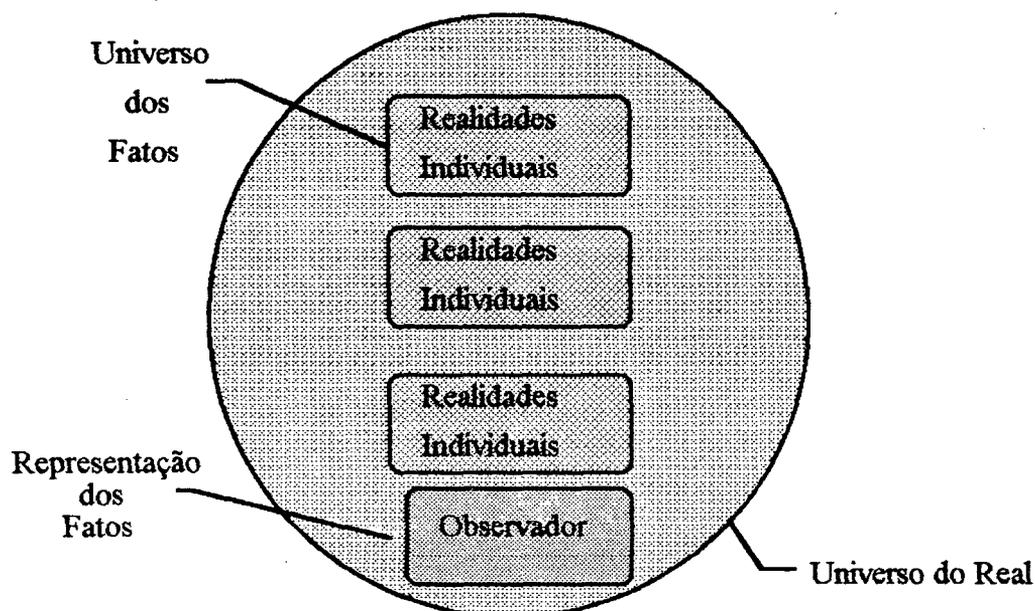


Figura 4.1 Fatos e representações de fatos

#### 4.1. O conhecimento

Os sentidos filtram e distorcem o 'real' criando realidades individuais que se relacionam interna e externamente formando um sistema. Sistemas possuem entidades que constituem sua essência ontológica, as quais têm atributos que podem agrupar-se por sua semelhança, sua contigüidade, seu contraste, etc., determinando-se *vinculos estruturais* de relação ou associação e *vinculos funcionais* de posse ou de inferência.

Essas entidades podem ser *sistemas autopoieticos* de menor ou maior ordem, que se caracterizam por apresentar individualidade; outras *estruturas alopoiéticas*, etc.; todas se inter-relacionando através de processos de equilíbrio, desequilíbrio.

Os atributos, para serem descritos em qualquer nível, seja este qualitativo, adimensional; ou quantitativo, dimensional, conduzem a uma representação simbólica. Tal representação recebe o nome de dado, o qual pode ser oral (Fonema), gráfico (Grafema), gestual (Querema) ou escrito (Monema ou Sintagma).

Um conjunto de dados analisados e organizados sob um determinado contexto e que satisfaçam um objetivo específico recebe o nome de informação. O estudo da informação se constitui no campo científico da semiótica, a qual estuda a teoria lógica dos sistemas de dados dentro dos conceitos de significação ou de comunicação.

*Existe significado* quando se pode estabelecer uma convenção que permita uma correlação entre signo e significado. Por exemplo, em muitas culturas, o signo da caveira é interpretado como significando perigo. *Existe comunicação* quando se pode produzir expressões mediante um determinado processo de codificação, transmissão e decodificação. Utilizando a comunicação conhecemos a informação, a qual mediante dados representa simbolicamente os atributos de um sistema que, por sua vez, representa uma determinada realidade.

Um exemplo básico de meio de comunicação é a Linguagem Natural, como o inglês, o francês, o português, etc, a qual se constitui num conjunto de signos que têm um valor significativo estruturado em vários níveis, a saber: O léxico, conjunto de signos utilizados (fonemas, morfemas, queremas, etc.); o morfológico, estrutura dos símbolos utilizados para representar cada signo (lexemas e morfemas); o sintático, que dá a função de cada signo na estrutura (sintagmas) e o semântico, ou significado de cada signo (semantemas).

Em um processo de acoplamento (comunicação), o receptor e o perceptor sofrem um processo de desequilíbrio dado que novas energias provenientes do 'real' precisam ser assimiladas, acomodadas ou rejeitadas. Através dos mecanismos de cognição, uma entidade, utilizando a percepção, sentidos; o raciocínio, capacidade de produzir inferências; a intuição, criatividade; ou a experiência, repetição, 'conhece' essa realidade. O processo cognitivo cria descrições; definições, proposições ou inferências, isto é informação acerca do estímulo que recebe e no qual se conjugam diferentes faculdades mentais tais como perceber, aprender e recordar.

O processo de cognição determina o conhecimento, o qual pode ser definido como a totalidade de tudo aquilo que tenha sido percebido, raciocinado, intuído ou experimentado. Conceber é a atividade mental mediante a qual resultam conceitos ou idéias que têm por base os estímulos percebidos, os quais determinam os conceitos de entender e de compreender, que culminam, no processo cognitivo, no conceito de saber.

Entender é uma operação elementar que se realiza ao finalizar a correspondente decodificação, quando se conhece o que se quer expressar ao utilizar signos conhecidos que correspondem a um léxico. Entender é um processo lógico que necessita da memória e realiza um processo de análise. Pode-se entender um fato, um evento, uma relação, uma palavra, etc. Eu posso entender uma pessoa falando em inglês e, ao mesmo tempo, não compreender o que ela está querendo transmitir.

Compreender é uma operação complexa que se realiza ao integrar as informações. É um processo psicológico que necessita da inteligência e realiza um processo de síntese. Pode-se compreender uma realidade, um raciocínio, uma inferência, um sistema e todas suas possíveis relações, etc. Em outras palavras: "*Compreender é produzir representações*" (Richard, 1990).

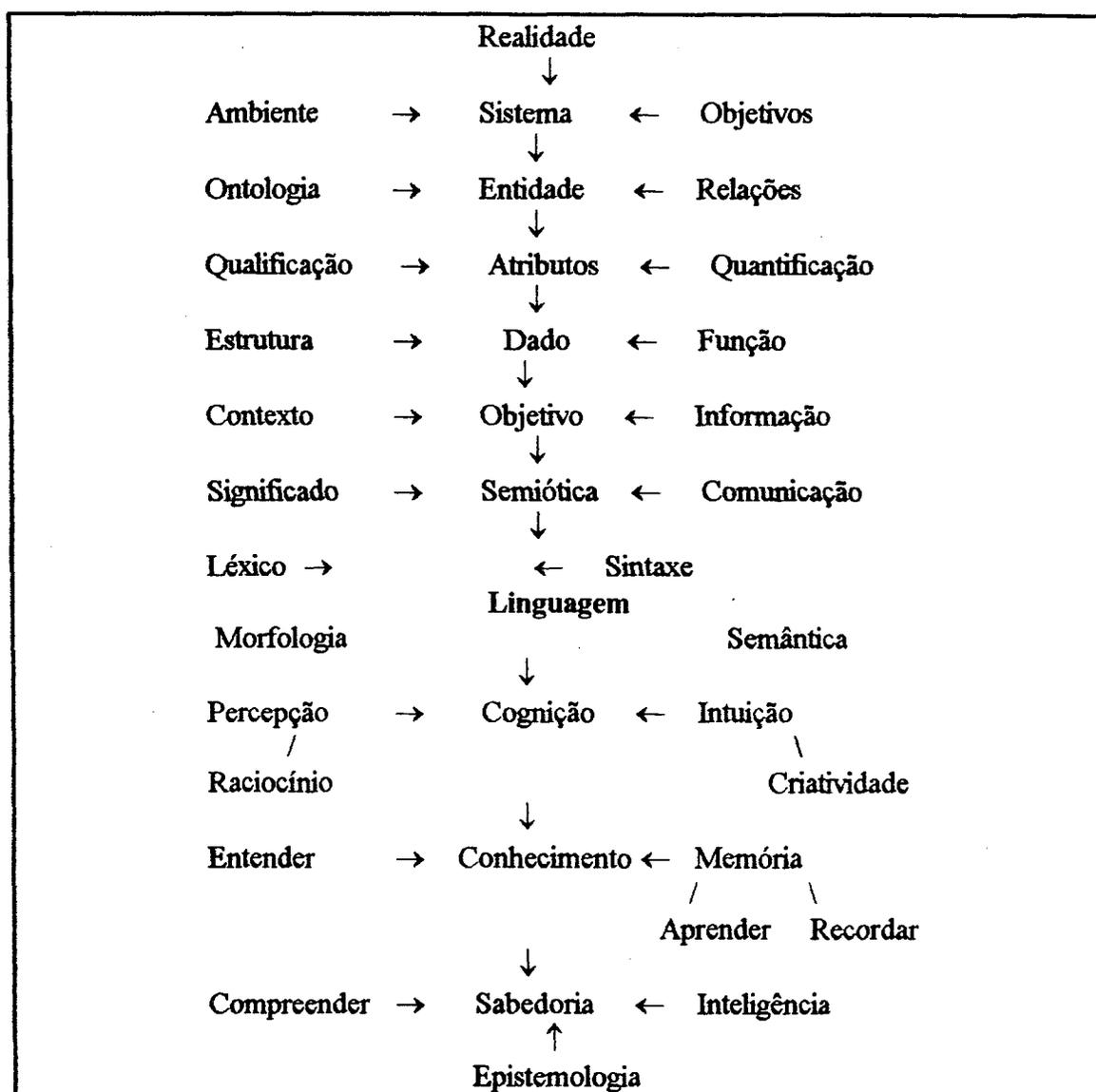


Figura 4.2 O conhecimento.

Essas representações refletem a história cognitiva das entidades autopoieticas. O mesmo evento, no universo do real (Realidade), pode ser compreendido, ou seja, representado pelos diferentes sistemas autopoieticos de infinitas maneiras.

No diagrama acima, inteligência é definida, por enquanto, como sendo a habilidade que tem um organismo autopoietico para utilizar seus conhecimentos; informação armazenada, de uma forma eficiente e orientada para um certo objetivo. (diagrama modificado a partir de Puleo, 1992).

#### 4.2 Representação do conhecimento

O problema fundamental, tanto em ciências cognitivas como em inteligência artificial, é o de como representar o conhecimento que individualiza uma entidade autopoietica. Esta é a tarefa da engenharia do conhecimento.

Dentro das técnicas de que se utiliza um engenheiro do conhecimento, uma das mais usuais se constitui na construção dos sistemas especialistas. Para se construir um modelo cognitivo desse tipo, as seguintes respostas devem ser obtidas:

- ☛ Quais são os signos e conceitos primitivos ou canônicos?, isto é, o léxico.
- ☛ Qual é sua estrutura?, isto é, sua morfologia.
- ☛ Como se relacionam entre si e se concatenam para formar estruturas cognitivas?, isto é, sua sintaxe.
- ☛ Como se guardam, se recuperam, se modificam ou se utilizam na resolução de situações (problemas) da vida real?, isto é, sua utilização semântica.

Um bom modelo cognitivo deveria atender às seguintes condições (Anderson, 1988):

- ☛ Deve ter capacidade de representar a maioria das descrições que possam ser exibidas por um ser humano.
- ☛ Deve mostrar de maneira útil e pragmática a informação essencial extraída de uma determinada descrição.
- ☛ Deve conter um mínimo de categorias formais, tanto morfológicas como sintáticas.
- ☛ Deve permitir uma busca e recuperação relativamente eficiente de descrições básicas.
- ☛ Deve facilitar a expressão, busca e recuperação de relações concatenadas.

Em termos de representação de conhecimento o esforço inicial dos pesquisadores conduziu ao entendimento teórico dessas representações como sendo baseadas em diversos tipos de lógicas. Regras de produção foram empregadas como um mecanismo capaz de, a partir de um contexto, se chegar a um resultado desejado. Redes semânticas, dos tipos propostos por Quillian (1968,1969), Rumelhart, Lindsay e Norman (1972), Carbonelli & Collins (1973), Simons (1973), etc, foram extensamente discutidas e utilizadas.

Minsky estendeu a idéia relativa ao conceito de rede semântica para a noção de frame (quadros). Uma frame é uma estrutura organizada de dados que contém terminais (slots) os quais aceitam apenas certos tipos de valores e que, freqüentemente, podem ser preenchidos por valores 'default'. O frame relativo ao conceito de 'quarto', por exemplo, teria um campo<sup>1</sup> para 'cama', que estaria normalmente preenchido por uma 'cama protótipo'.

Shank, dentre os vários formalismos que desenvolveu, partiu de um 'conjunto primitivo de ações' que imaginou ser suficiente para representar todas as ações (verbos). Juntamente com Abelson desenvolveu então o conceito de 'scripts' (papéis). Um exemplo clássico é o 'script associado ao conceito restaurante' que veremos a seguir.

Para Rumelhart, Smolensky, McClelland e Hinton; frames e scripts não são elementos simples, pré armazenados, mas o resultado da iteração de um grande número de processos elementares mais simples, todos trabalhando juntos como num concerto. Daí a idéia de representar o conhecimento por 'esquemas' (schemes), numa arquitetura conexionista.

Talvez que, dentro do nosso cérebro, lógicas, sistemas de produção, alógrafos, esquemas, scripts, frames, redes semânticas e outras estruturas ainda por se descobrir, se entrelacem de uma forma complexa tal que, dessa complexidade, se possa um dia explicar o maior de todos os mistérios, a consciência.

#### 4.2.1 Representação por lógica matemática

A lógica, que é o estudo matemático e filosófico mais antigo sobre a natureza do raciocínio e do conhecimento foi um dos primeiros esquemas de representação usados em inteligência artificial. Seu uso continua sendo defendido por muitos. Para Piaget, por exemplo, a conquista do raciocínio lógico marca o fim do processo construtivo vertical, libertando o homem do mundo interno e dotando-o de uma arma poderosa para criar seus próprios universos. No capítulo quinto estudaremos com mais profundidade o que intitulamos por lógicas humanas.

#### 4.2.2 Regras de produção

Uma outra maneira de representar conhecimento, a mais empregada nos diversos Sistemas Especialistas comerciais, são as que se utilizam de regras de produção. Os conhecimentos são representados através de pares (condição - ação). As regras, base de conhecimento, têm duas partes: Uma antecedente, "*se*" tal condição se verifica, e outra conseqüente, "*então*" execute tal ação.

Consideremos, por exemplo, um sistema especialista em astronomia: *Regra N : (se) o corpo perde energia de rotação (então) o período aumenta.* A condição para o disparo de uma regra é dada pelo contexto. Se a parte esquerda de uma produção for satisfeita, a ação indicada pelo lado direito é realizada.

<sup>1</sup>Usaremos tanto as palavras campo como terminal como sinônimo do termo em inglês 'slot'.

Regras podem ser deduzidas em um sistema baseado em representação de duas maneiras. O primeiro é um método de inferência que, a partir de um conhecimento inicial (dados, fatos), vai desenhando uma árvore pela aplicação de todas as regras existentes aplicáveis a esse conhecimento inicial, gerando todos os caminhos possíveis até que se chegue a solução procurada para o problema ou a um estado onde nenhuma inferência adicional possa ser feita. Neste método, aplicar uma regra significa comparar os fatos conhecidos com as condições especificadas. Se as condições são verificadas verdadeiras, então toma-se a ação indicada na regra.

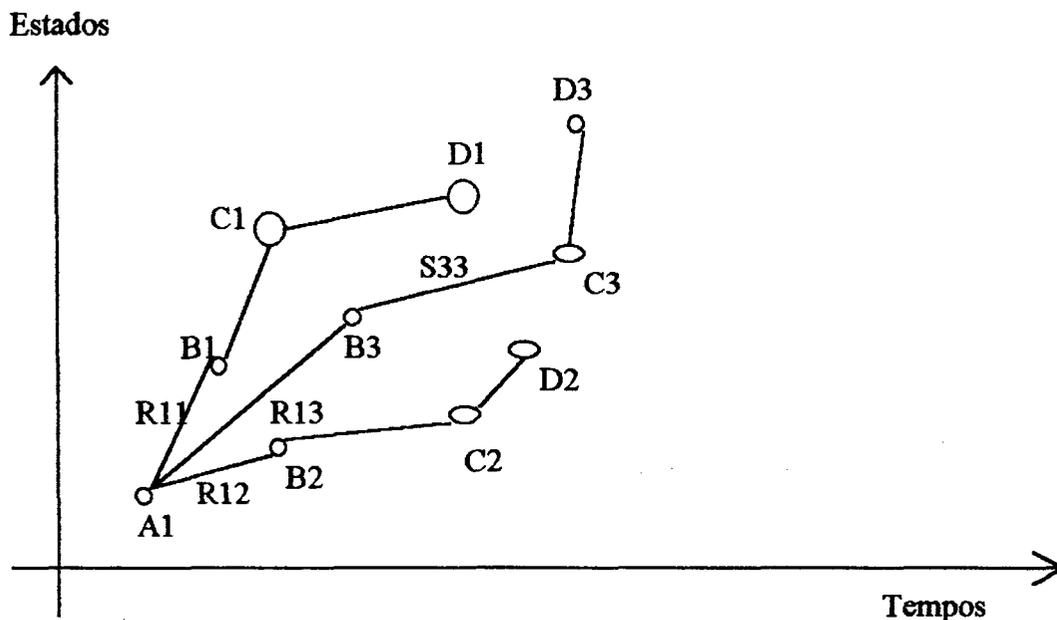


Figura 4.3 Árvore de busca baseada em regras de produção

O segundo método de inferência, encadeamento para trás, começa com o resultado que se propõe obter. Esse é o primeiro objetivo ou 'goal'. A seguir se pergunta quais estruturas nos levariam a esse estado existente. As condições dessa estrutura passam a ser, agora os sub-objetivos a serem atingidos. O processo continua até que se descobre um caminho que, a partir da condição inicial nos leve à solução desejada ou quando todos os objetivos foram particionados em seus componentes mais simples sem que se descobrisse nenhum caminho. Neste método a aplicação de uma regra consiste em comparar o resultado de sua aplicação, que contém o que se quer provar, com os fatos conhecidos; se o fato não é conhecido, verificam-se os fatos conhecidos que permitiriam atingir o resultado desejado e esses fatos passam a ser os novos objetivos, repetindo-se o procedimento até que se encontre um caminho ou até que se verifique que tal caminho não existe.

Métodos híbridos buscam simultaneamente para frente a partir do estado inicial e para trás a partir do objetivo até que dois percursos se encontrem em alguns lugar no meio do caminho. Esta estratégia é chamada de busca bidirecional. Ela parece interessante se o número de nós em cada passo crescer exponencialmente em relação ao número de passos que já foram dados.

Embora, em princípio, o mesmo conjunto de regras possa ser usado tanto para o raciocínio para frente quanto para o raciocínio para trás, na prática ficou provado que é útil definir duas classes de regras, cada uma delas codificando um determinado tipo de conhecimento. Regras para frente, que codificam conhecimentos sobre como responder a certas configurações de entrada e regras para trás, que codificam conhecimentos sobre como atingir determinados objetivos. Quando separamos as regras nessas duas classes estamos, essencialmente, acrescentando, a cada regra, informações adicionais que dizem como a regra deve ser usada na solução do problema, ou seja, introduzindo restrições as mesmas. Se o contexto é o determinado pelo 'esquema' de produção e as restrições relativas a aplicação desse esquema são atendidas, garante-se a obtenção dos resultados. ( contexto : restrições: resultados)

### 4.2.3 Redes Semânticas

A representação de conhecimento, através de redes semânticas, parte do conceito de que a memória humana é associativa. O conhecimento, dentro desse paradigma, é modelado como um conjunto de nós conectados por ligações chamadas arcos que descrevem as relações entre os nós. Por exemplo, para representar "Todo carro é um veículo" temos:

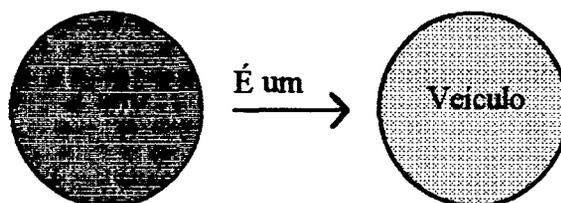


Figura 4.4 Redes semânticas I

Os nós representam objetos, conceitos ou eventos. Os arcos em geral dependem da espécie de conhecimento que está sendo representado; por exemplo, *é-um* e *é-parte* são arcos para representar hierarquias entre objetos. Uma característica chave da representação por rede semântica é que importantes associações podem ser feitas explicitamente e sucintamente. Fatos importantes sobre um objeto ou conceito podem ser deduzidos dos nós aos quais eles estão ligados diretamente, sem uma pesquisa no contexto.

A interpretação semântica das estruturas da rede depende somente do programa que a manipule. Não existe nenhuma convenção sobre seus significados. Inferências tiradas pela manipulação da rede só são seguramente válidas, na representação baseada em lógica.

Rede semântica é uma forma de representação de conhecimento muito usada nas pesquisas de inteligência artificial relacionadas com processamento de Linguagem Natural (entendimento da Língua Portuguesa falada e escrita). Para representar "Todo carro tem rodas e um veículo é um meio de transporte" temos:

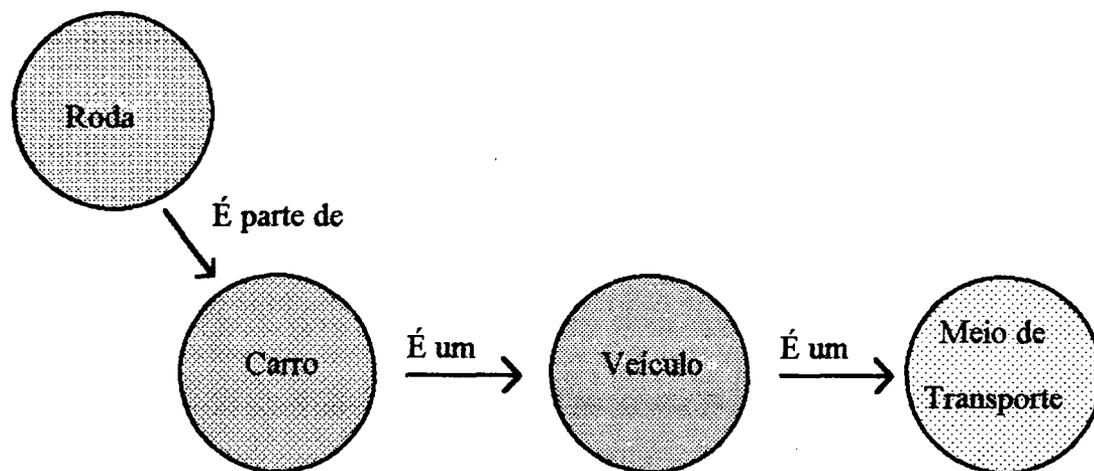


Figura 4.5 Redes semânticas II

Um modelo para a memória, dos mais empregados pelos pesquisadores, foi proposto por M. R. Quillian. Nesse modelo representa-se a memória como uma massa de nós onde cada nó é associado, por exemplo, a uma palavra ou conceito. Estes nós são unidos por diferentes tipos de ligação, formando uma rede. Os nós podem ser *típicos*, se apontam diretamente para o significado da palavra, ou de *sinalização*. Para qualquer significado associado a uma palavra só pode existir um único nó associado mas, em contrapartida, muitos nós de sinalização podem estar apontados para o mesmo conceito. Para se definir uma palavra com muitos significados como "planta", que tanto pode ser um vegetal como uma fábrica ou um desenho de construção civil, deve-se pensar no conjunto de nós de sinalização que representam um único conceito como que formando um plano da memória. Cada nó de sinalização pode ter ligações apontando para fora do plano ou/e para dentro do plano. Redes semânticas evoluíram em outros tipos de representações estruturadas.

#### 4.2.4 Alógrafos e semiótica

##### 4.2.4.1 Bolhas de informação

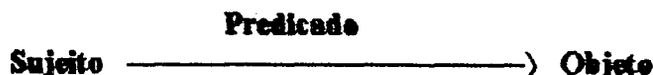
A maioria das descrições, sejam definições, proposições ou inferências, têm como centro semântico uma ação ou predicado, o qual geralmente se representa por um monema verbal. O estudo realizado para a língua espanhola (Guti, 1978) determinou que verbos aparecem expressos em 94% das frases mais comuns. Todo predicado se realiza ou está realizado por um sujeito, o qual geralmente se representa por seu sintagma nominal.

A realização ou execução do predicado recai sobre um objeto, o qual geralmente também se representa por um sintagma nominal. Podemos então representar uma descrição com uma estrutura primitiva ou canônica, da seguinte forma:

$$\text{Sujeito} = \text{Predicado (objeto)}$$

Para representar graficamente um conhecimento podemos utilizar o que se conhece com o nome de **mapas semânticos**, os quais são empregados de diferentes maneiras. Uma das mais destacadas é como facilitador da aquisição e compreensão de conceitos fundamentais na leitura e aprendizagem de materiais de instrução.

O mapa semântico de uma '*bolha de informação*' requer dois nós; um para o sujeito e o outro para o objeto e uma união ou relação para o predicado. Sua representação gráfica é a seguinte. O sentido da flecha indica a dependência do objeto com o sujeito mediante o predicado.



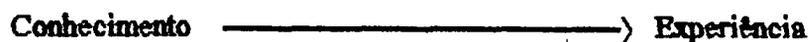
Em geral, entre as entidades sujeito (S) e objeto(O) se podem encontrar os seguintes predicados primitivos ou canônicos:

*a Dependência:*

S tem uma relação de dependência não específica com O.

$S = * (O)$

Conhecimento = \* (Experiência)



*b Relacional:*

S se relaciona com O mediante uma definição linguística D.

$S = D(O)$

Scooby = É um (Cachorro)

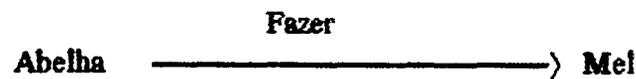


*c Verbal:*

S se relaciona com O mediante um sintagma verbal V.

$S = V(O)$

Abelha = Fazer(Mel)



*d Nominal:*

S se relaciona com O mediante um sintagma nominal N.

$S = N(O)$

Ana = Mãe de(Maria)

Mãe\_de

Ana —————> Maria

*e Modal:*

O predicado é um conceito que indica se o objeto é um agente, um modo, uma quantidade, um tempo, um lugar, etc.

$S = M(O)$

Comer = Lugar (restaurante), tempo(hoje), tipo(almoço)

Lugar

Comer —————> Restaurante

Tempo

Comer —————> Hoje

Tipo

Comer —————> Almoço

*f Qualificativo:*

O Predicado é um Atributo do Sujeito e o Objeto é um Dado

$S = A(O)$

Casa = Cor(Branco)

Cor

Casa —————> Branco

*g Reflexivo*

O Sujeito e o Objeto são os mesmos.

$S = P(S)$

Scooby = Aborrecer(Scooby) (Scooby se aborrece)

Aborrecer

Scooby —————> Scooby

*h Contingente:*

O predicado estabelece uma relação lógica ou casual entre duas bolhas. Este predicado geralmente se representa pelos sintagmas seguintes:

Portanto          Então          Logo

$S1 = P1(O1)$  portanto  $S2 = P2(O2)$

Scooby = Ter (Pulga)      Portanto      Chico = Comprar (Inseticida)

Ter                                  Portanto                                  Comprar

Scooby —————> Pulga —————> Chico —————> Inseticida

#### 4.2.4.2 Alógrafo

As proposições correspondem essencialmente a uma conceitualização completa de um fato, de um evento ou de uma inferência, isto é, uma assertiva ou afirmação de uma realidade, para a qual se requer conhecer os atributos do sujeito, os atributos do objeto e o contexto onde se realiza o predicado.

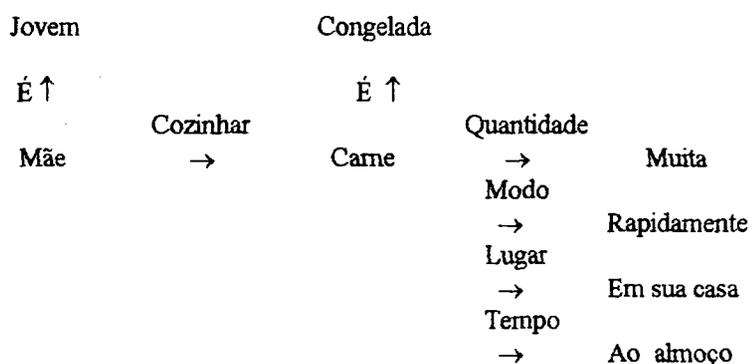
Estes atributos também se podem representar mediante 'bolhas de informação' e portanto poderíamos definir um alógrafo como a representação linear de um conjunto de bolhas que correspondem a uma determinada proposição que, em geral, tem a seguinte estrutura:

**Sujeito = Atributos\_do\_Sujeito, Predicado(Objeto=Atributos\_do\_Objeto,Contexto)**

Por exemplo, se se tem a proposição: "*A mãe jovem cozinha rapidamente muita carne congelada ao almoço em sua casa*", seu alógrafo correspondente seria o seguinte:

Mãe = É(Jovem),Cozinhar(Carne=É(Congelada),Modo(Rapidamente),Quantidade(Muita),  
Tempo(Ao\_almoço),Lugar(Em\_sua\_casa))

Seu mapa semântico correspondente é:



Para uma proposição em particular se pode determinar um conjunto de alógrafos canônicos, os quais são:

*a Proposição elementar:*

O alógrafo corresponde a uma bolha.

$S = P(O)$

Chico = É(Pobre)

É  
Chico → Pobre

*b Proposição composta no objeto*

A proposição tem vários objetos em um predicado.

$S = P(01, 02, 03, \dots)$   
 Scooby = É (Narigudo, Covarde, Teimoso)

	É	
	→	Covarde
	É	
Scooby	→	Narigudo
	É	
	→	Teimoso

*c Proposição composta com o predicado*

A proposição tem vários predicados com seus respectivos objetos.

$S = P1(01), P2(02), P3(03), \dots$   
 Scooby = É(Cachorro), Tem(Pulga), Gosta(Osso)

	É	
	→	Cachorro
	Tem	
Scooby	→	Pulga
	Gosta	
	→	Osso

*d Proposição geral*

A proposição geral tem vários predicados e cada predicado tem vários objetos

$S = P1(011, 012, \dots), P2(021, 022, \dots), P3(031, 032, \dots), \dots$

Miguel = É(Rico, Bom), Tem(Mulher, Dinheiro), É\_um(Engenheiro)

Rico	Tem	
↑ É	→	Mulher
Miguel	Tem	
↓ É	→	Dinheiro
Bom	É-um	
	→	Engenheiro

**4.2.4.3 Diagramas morfosintáticos dos alógrafos**

A maior crítica aos modelos cognitivos tem sido sua falta de normalização, e com o fim de evitar este fato e facilitar a utilização dos alógrafos, se tem estabelecido relações morfosintáticas que abarcam a maioria dos casos que se apresentam na realidade.

a Miguel Tem um carro

Miguel = (Ter(Carro))

b Miguel tem um carro negro grande, mulher e dinheiro, É rico e é um engenheiro de sistemas

$$\text{Miguel} = (\text{Ter}(\text{Carro} = \text{É}(\text{Negro}, \text{Grande})), \text{Mulher}, \text{Dinheiro}), \text{É}(\text{Rico}), \\ \text{É\_um}(\text{Engenheiro} = \text{É\_de}(\text{sistemas}))$$

c Miguel tem um carro grande e portanto compra gasolina, pneus, tapetes e gasta dinheiro.

$$\text{Miguel} = (\text{Ter}(\text{Carro} = \text{É}(\text{Grande})), (\text{Miguel} = (\text{Comprar}(\text{Gasolina}, \text{Pneus}, \\ \text{Tapetes})), \text{Gastar}(\text{Dinheiro}))).$$

d Miguel tem carro negro grande portanto compra gasolina, pneus, tapetes e gasta dinheiro. Além disso tem mulher, é rico e é um engenheiro de sistemas

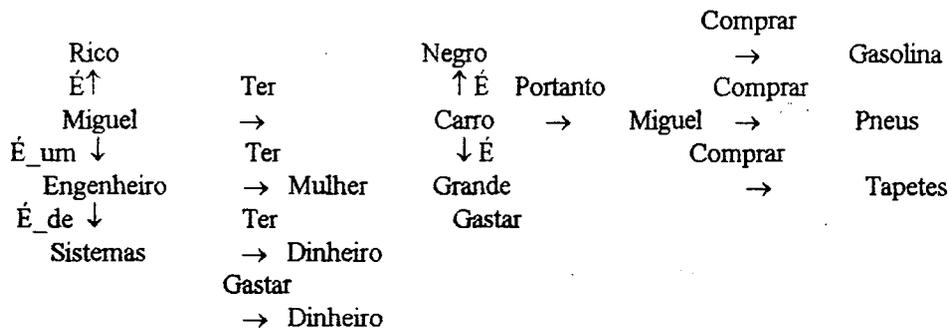
$$\text{Miguel} = (\text{Ter}(\text{Carro} = (\text{É}(\text{Negro}, \text{Grande}))) : (\text{Miguel} = \text{Comprar}(\text{Gasolina}, \\ \text{Pneus}, \text{Tapetes})), \text{Gastar}(\text{Dinheiro})), \text{Ter}(\text{Mulher}, \text{Dinheiro}), \text{É}(\text{Rico}), \\ \text{É\_um}(\text{Engenheiro} = \text{É\_de}(\text{sistemas}))$$

#### 4.2.4.4 Representação do conhecimento mediante alógrafos

O conhecimento dado pelas proposições anteriores e representado mediante seus correspondentes alógrafos permite com facilidade outros tipos de representações tais como:

- a.- Mapas semânticos
- b.- Diagramas Associativos
- c.- Estruturas Hierárquicas
- d.- Estruturas Associativas

##### a Mapas semânticos



##### b Diagramas associativos

*c Estrutura hierárquica*

Miguel

Ter

Carro

É

Negro  
Grande

Portanto

Miguel

Comprar

Gasolina  
Pneus  
Tapetes

Gastar

Dinheiro

Mulher  
Dinheiro

É Rico

É\_um

Engenheiro

É\_de

Sistemas

*d Estrutura associativa*

SUJEITO	PREDICADO	OBJETOS		
Miguel	Ter	Carro	Mulher	Dinheiro
	É	Rico		
	É_um	Engenheiro		
Carro	É	Negro	Grande	
	Portanto			
Miguel	Comprar	Gasolina	Pneus	Tapetes
	Gastar	Dinheiro		
Engenheiro	É_de	Sistemas		

#### 4.2.5 Frames<sup>2</sup>

Quando estamos diante de situações novas selecionamos, da memória, uma estrutura substancial, que Minsky denominou por frame (quadro), que é algo de que nos lembramos e que parece ser passível de adaptação à realidade presente, desde que se mude alguns detalhes necessários. Um 'quadro', na verdade, é uma estrutura de dados; uma espécie de rede que contém nós e relações. Os níveis superiores são fixos e representam coisas que são sempre verdade para determinada situação. Os níveis mais baixos apresentam muitas fendas (slots) 'terminais', que devem ser preenchidas com instâncias específicas de dados relativos a determinado conceito.

Condições simples são especificadas por marcadores que podem requerer a designação de um 'terminal' para ser uma pessoa, um objeto, um apontador para uma 'sub-frame (frame)', etc. Condições complexas podem requerer muitos terminais. Coleções de 'quadros' relacionadas podem ser ligadas formando um 'sistema de frames'. Os efeitos de ações importantes são refletidas por transformações nos 'quadros' que representam um sistema. Esta modelagem é extremamente útil para representar, por exemplo, coisas como mudanças de ênfase ou atenção, ou para se modelar abstrações como 'imaginação'.

Um quadro é, em resumo, uma estrutura de dados para representar um conceito ou uma situação estereotipada, como entrar em uma sala de estar ou ir a uma festa de aniversário de uma criança. Junto a cada quadro existem vários tipos de informações. Algumas destas informações são sobre como usar o quadro, outras sobre o que se pode esperar que aconteça a seguir e ainda sobre o que fazer se estas expectativas não forem confirmadas. O mecanismo representacional que possibilita o tipo de raciocínio baseado em expectativas é o campo, o local onde o conhecimento ajusta-se ao contexto criado pelo quadro.

Por exemplo, um simples quadro para o conceito genérico de um estádio de futebol deve ter campos para o proprietário, para a capacidade de público e para outras características, conforme o esquema a seguir (Passos,1989):

Quadro Estádio de Futebol	
Nome :	um "string"
Proprietário :	particular, estado
Capacidade de Público :	um inteiro
Dimensões do Campo:	oficial, reduzida
Iluminação Artificial:	boa, regular, inadequada
Seqüência de eventos:	roteiro assistir ao jogo

Um quadro para um determinado estádio de futebol tem os mesmos campos (eles são herdados do quadro genérico) mas seus conteúdos são especificados. Por exemplo, o quadro para o estádio do Maracanã seria:

<sup>2</sup>Usaremos tanto a palavra original inglesa 'frame' como sua tradução 'quadro', ao longo do texto, por razões puramente literárias, deixando claro que ambas exprimem o mesmo conceito.

### Quadro Estádio de Futebol

Nome :	Maracanã (Mário Filho)
Proprietário:	Estado do Rio de Janeiro
Capacidade_de_Público:	200.000
Dimensões_do_campo:	Oficial
Iluminação_Artificial:	Boa
Seqüência_de_Eventos:	Roteiro Assistir_ao_Jogo

Como indicado no campo seqüência de eventos, os conhecimentos sobre o que tipicamente acontece em um estádio de futebol podem ser representados em um roteiro como exemplificado a seguir:

#### *Roteiro Assistir\_ao\_Jogo*

##### Seqüência de Eventos

Inicialmente :	Roteiro comprar ingresso
então	: se (portões abertos ou portões fechados)
	: então Roteiro Acesso às Dependências
então	: Roteiro Assistir Disputa em Campo
então	: Roteiro Deixar Estádio de Futebol

Quadros podem ser organizados como uma rede semântica, isto é, uma rede de nós e relações organizados em hierarquia, onde nós superiores (nós pais) representam conceitos gerais e os inferiores exemplos mais específicos desses conceitos. Em um sistema de representação de conhecimento usando quadros o conceito de cada nó é definido pela coleção de atributos (nomes, cores) e pelos valores desses atributos, onde os atributos são chamados campos (slots). Cada campo pode ter procedimentos associados que são executados segundo os procedimentos acima.

Esses procedimentos associados podem "monitorar" a atribuição de informação ao nó, assegurando que a ação apropriada é realizada quando os valores mudam. Os sistemas de quadros são úteis para domínios de problema onde a forma e o conteúdo do dado desempenham um papel importante na solução do problema, tais como interpretação visual de cenas ou entendimento de fala.

Para análise de cenas visuais, por exemplo, poderíamos associar diferentes 'quadros' à uma mesma cena vista sob diferentes ângulos. As transformações entre uma e outra representariam o movimento do observador. Para outros tipos de 'frames', pode-se estar representando ações, relações de causa e efeito ou mudanças do ponto de vista metafórico. Frames diferentes podem compartilhar os mesmos terminais. Este é o ponto crítico da teoria que torna possível integrar informações obtidas sob diferentes pontos de vista. Esses terminais estão normalmente associados com valores default que representam nossas suposições e expectativas.

Vamos, a título de exemplo, discutir de forma mais aprofundada a forma como representamos os conhecimentos adquiridos pela visão. Esta forma pode ser estendida para outras modalidades de aquisição.

#### 4.2.5.1 Teorias globais e parciais para a visão

Quando entramos numa sala vemos, num relance, o cenário inteiro. Mas ver, de fato, dar significado aos sinais de luz captados pela retina, é um processo bem mais complexo. As teorias inicialmente apresentadas pelos adeptos da GESTALT, que tentavam explicar a variedade dos fenômenos visuais por supostas propriedades dos campos elétricos existentes no cérebro ou, posteriormente, pelo uso de conceitos relativos a transformações integrais, hologramas e interferências, não levaram a conclusões práticas.

A despeito disso muitos ainda defendem a necessidade de um processamento em paralelo que emulasse as configurações dos campos elétricos cerebrais. Na teoria que se está expondo, a análise é baseada sobre interações entre sensações e uma imensa rede de informações simbólicas que construímos ao longo do tempo.

O processo cognitivo pode ser dividido em níveis. Nos níveis mais baixos, de detecção da textura dos elementos, estereoscopia, efeitos de paralax devido ao movimento relativo, etc., a utilidade do processamento em paralelo dessas informações é óbvia. Ao nível de grupamento dessas características já se torna difícil entrever o uso do processamento em paralelo, embora se possa conceber a agregação de núcleos de conexão ou a aplicação de restrições semânticas que seriam realizadas por alguma rede paralela especial. Nos níveis cognitivos mais altos, as teorias simbólicas de maior sucesso são aquelas que falam dos processos relativos à 'formação de hipóteses' e 'métodos de confirmação' dessas hipóteses e que prescindem de um processamento em paralelo posto que podem ser tratadas seqüencialmente. Modelos que empregam o conceito de formulação de várias hipóteses e diferentes métodos de confirmação, numa arquitetura onde se usa algoritmos de competição se utilizam, com vantagens do processamento em paralelo.

##### 4.2.5.1.1 Traçando a Imagem de um Cubo

Olhando para um cubo somos capazes de ver duas de suas quatro faces laterais (A e B) e sua face superior (E).  $\square \rightarrow$  Cubo

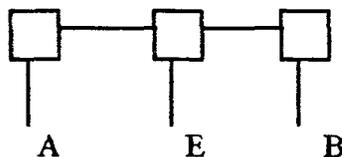


Figura 4.6 Traçando a imagem de um cubo

Se eu me mover (para a direita por exemplo) uma das faces (A digamos) desaparece de vista e uma nova face (C) entra no campo da visão. Se eu tivesse que começar a construir a cena desde o início eu teria que:

- ☞ perder o conhecimento relativo à face A
- ☞ recomputar B
- ☞ computar a descrição de C

Como eu sei, no entanto, que me Movi\_para\_a\_direita, posso salvar a descrição que tenho de B, deslocando-o apenas para o terminal da esquerda. Posso ainda salvar A, conectando-o a um terminal invisível. Posso construir uma frame para cada ângulo de visão. Cada 'quadro' teria terminais que permitiriam a ligação de apontadores para sub estruturas. Frames diferentes poderiam compartilhar os mesmos terminais os quais, por sua vez, corresponderiam aos mesmos atributos físicos vistos sob diferentes pontos de vista.

Isto nos permite representar, em um único lugar, informações vistas independentemente, obtidas em diferentes ocasiões e lugares, o que é importante mesmo em aplicações onde não entra o processo visual. O processo de casamento que decide se um 'quadro' proposto é apropriado, depende dos objetivos e das informações à ela associadas.

Uma frame possui marcadores de terminais e outras restrições, enquanto que objetivos são empregados para se saber quais dessas restrições são relevantes para o caso em estudo. O processo de casamento apresenta, geralmente, os seguintes componentes:

- ☞ Uma frame, uma vez evocada, com base em alguma evidência parcial ou expectativa, dirige primeiro um teste para confirmar se é ou não apropriada (ela mesma), usando conhecimento acerca de atributos recentemente observados, locais, relações e subframes plausíveis. O objetivo corrente é empregado para decidir quais terminais e condições devem ser ajustados para casar com a realidade.
- ☞ A seguir, a frame vai requisitar a informação necessária para determinar os valores que deve atribuir aos seus terminais que não possam reter os valores default. Pode, por exemplo, requisitar informações a respeito da face C.
- ☞ Finalmente, se informada acerca de uma transformação, transfere o controle para outra frame apropriada do sistema.

Quando uma tentativa de se atribuir valores aos terminais falha, o erro resultante da mensagem pode ser empregado para propor uma segunda alternativa (outra frame apropriada).

#### 4.2.5.1.2 A visão é simbólica?

Pode-se acreditar que a percepção que temos da estrutura tri dimensional da realidade seja tão fragmentária, atômica, que possamos representá-la por relações entre vistas parciais bi-dimensionais? Esta pergunta pode ser dividida em duas outras, a saber:

- ☛ A formação mental de imagens (Imagery) é simbólica?
- ☛ A formação mental de imagens é baseada em fragmentos bi-dimensionais?

A continuidade que atribuímos à visão deriva da confirmação de expectativas, as quais, por sua vez, dependem de um acesso rápido ao banco de conhecimento visual que temos, relativo ao mundo. Assim, antes de entrarmos numa sala (ou o que nós esperamos ser uma sala) selecionamos uma frame, cuja forma mais simples seria semelhante à de um interior de uma caixa. Temos então que atribuir valores a cada um dos terminais dessa frame. (parede esquerda, direita, teto, etc.). Se a nova sala não é de um tipo a qual estejamos acostumados (nenhuma frame pronta pode servir para representá-la), levaremos um tempo maior de análise até sermos capazes de representá-la.

Mesmo nesses casos a complexidade do trabalho pode ser diminuída pela utilização de sub-frames apropriadas.

Quando nos movemos numa sala, as formas das coisas se modificam. Este problema é particularmente importante para animais que se movem rapidamente. Temos que reprocessar toda informação visual a cada instante ou podemos usar 'transformações' tipo 'mover para a direita (esquerda)' que atuem sobre essas frames?

#### 4.2.5.1.3 Oclusões

Quando nos movemos para a direita, um objeto grande, situado no centro da sala, passa a obstruir a visão relativa às coisas que estão atrás. Em nossa sala, os subobjetos de diferentes terminais podem ocluir uns aos outros. Existiria uma frame central, da qual todas as frames derivadas por perspectiva seriam obteníveis por atribuição de valores a alguns terminais especiais da frame central?

*As experiências de Piaget e Inhelder parecem demonstrar que esses supersistemas, se de fato existem, não são desenvolvidos antes de 10 anos.*

#### 4.2.5.2 Linguagem, entendimento e cenários

Segundo Chomsky, sentenças sem nenhum sentido como "*sem nenhuma cor verdes idéias dormem furiosamente*" e "*furiosamente dormem idéias verdes sem nenhuma cor*" são tratadas diferentemente. Chomsky sugere que o 'reconhecimento de sentenças' é algo bem diferente de 'apreciação de significado'.

Consideremos a seguinte fábula: "*Era uma vez um lobo que viu um carneiro bebendo em um rio e queria uma desculpa para comê-lo. Com esse propósito, ainda que ele estivesse acima da corrente, acusou o carneiro de poluir a água, impedindo-o de beber*" Para entendermos esta fábula, é preciso que entendamos que o lobo está mentindo; que a conjunção 'ainda que' implica que poluição desce o rio e não sobe.

Qualquer evento; ação; mudança; fluxo de material; etc. pode ser representado, em primeira aproximação, por um evento genérico descrito por um par de frames do tipo 'antes\_depois'. Podemos ter terminais para agentes, ferramentas, efeitos colaterais, pré condicionamentos, etc. O uso de 'pares de frames', no entanto, é pobre, na medida em que não temos como representar as informações acerca da transformação. Como uma segunda alternativa poderíamos ter pares marcados de nós ou alguma outra estrutura que contivesse essas informações. De modo geral, qualquer tentativa de apresentar um método de organização para um 'sistema de frames' que representasse um cenário mais complexo teria que conter, como ingredientes, os seguintes tipos de frame:

☛ *Frames Sintáticas Superficiais*

Cláusulas Verbais. Uso de preposições, convenções quanto a ordenação de palavras, etc.

☛ *Frames Semânticas Superficiais*

Significado das palavras, qualificadores e relações que conectam participantes, instrumentos, trajetórias, estratégias, etc.

☛ *Frames Temáticas*

Tópicos, atividades, retratos de pessoas, cenários. Problemas e estratégias conectadas a algum tópico.

☛ *Frames Narrativas*

Histórias, explicações e argumentos. Convenções acerca de focalização, protagonistas, planos, desenvolvimentos, etc. com o propósito de provocar que o ouvinte construa uma nova frame temática em sua mente.

O exame do discurso linguístico nos conduz a uma outra forma de definição das frames: "*Uma Frame é uma coleção de questões a serem perguntadas acerca de uma situação hipotética; ela especifica as questões a serem levantadas e os métodos a serem empregados ao lidar com essas questões*". Os terminais nesse caso, correspondem ao que Schank denominou de "casos conceituais".

#### 4.2.5.3 Aprendizagem, memória e paradigmas

Imaginemos que estamos diante de uma situação nova. Os seguintes problemas relativos à aquisição e representação de conhecimentos teriam que ser resolvidos dentro dessa arquitetura empregando 'frames'.

☛ *Expectativa*

Como selecionar alguma frame inicial para atender alguma condição dada?

☛ *Elaboração*

Como selecionar e ligar subframes de forma a representar os detalhes adicionais?

☛ *Alteração*

Como encontrar uma frame que substitua outra que não se adapte bem o suficiente?

☛ Novidade

O que fazer quando não encontramos nenhuma frame? Construimos uma nova ou adaptamos uma existente?

☛ Aprendizagem

Quais frames devem ser armazenadas, ou modificadas, como resultado de uma experiência?

Podemos imaginar a memória como sendo dirigida por duas necessidades distintas. Por um lado existem itens que devem ser representados por 'quadros' e, por outro lado, existem frames que precisam atribuir valores aos seus terminais para se completarem. Quando um 'quadro' encontra um problema, tal que determinada condição importante não possa ser satisfeita, alguma coisa deve ser feita. Esse processo tem muita semelhança com os princípios piagetianos de assimilação e acomodação.

Visualizamos os seguintes tipos de acomodação à problemas:

☛ Casamento

Quando nada mais específico é encontrado, podemos sempre tentar a utilização de algum mecanismo associativo existente na memória. O problema pode ser formulado da seguinte forma: *"Seja 'E' o custo associado a perda de valorações que conseguimos atribuir a alguns terminais da frame, e 'F' o custo associado ao fato de não termos encontrado valorações para os demais terminais. Se E for maior que F, preservamos a frame como uma subframe da frame associada à representação que estamos tentando realizar.*

☛ Desculpa

Uma dificuldade aparente no processo de casamento entre uma realidade externa e uma frame, pode sempre ser explicada. Tais desculpas podem se sustentar em *oclusões* (um objeto grande que oculta um cenário esperado); *variantes funcionais* (uma cadeira com um pé só), *quebras ou contextos parasitas* (cadeira de brinquedo).

☛ Recomendação

A frame contém conhecimento explícito acerca do que fazer acerca do problema.

☛ Sumário

Se uma frame não pode ser completada ou substituída, deve ser abandonada. A experiência ganha na tentativa, no entanto, deve ser armazenada para subsidiar o processo de seleção de frames no futuro.

#### 4.2.5.4 Controle das frames

Imaginemos o cérebro humano como sendo um imenso banco de dados onde conjuntos relacionados de fatos e 'demônios' estão grupados em pacotes. Um número qualquer desses pacotes podem ser ativados ou feitos disponíveis em qualquer instante. Um pacote pode conter qualquer número de outros pacotes (recursivamente), no sentido de que, se o pacote que contém os outros é ativado esses também serão ativados e qualquer item de dados associado se torna disponível a menos que tenha sido cancelado ou substituído.

Portanto, pela ativação de uns poucos pacotes, o sistema pode se ajustar, criando um ambiente de execução que contém apenas as partes relevantes do *conhecimento global* e um conjunto apropriado de 'demônios'. Esses demônios são criaturinhas autônomas e mal comportadas que, uma vez despertadas, saem pelo mundo em busca de informações ou outros tipos de quitutes com os quais possam saciar a sua 'fome'.

Uma frame, sendo ativada, principia por verificar atributo por atributo, hipótese por hipótese o que está nela contida. Se uma hipótese ainda não foi aceita, ou tenha sido rejeitada, o quadro inicia um processo de formulação de questões de forma a obter mais informações sobre os atributos em questão. A natureza dessas questões varia de acordo com o espaço de problemas. Um programa médico solicita alguns exames de laboratório; um programa que emule o processo visual solicita uma 'vista de mais perto', etc. A ordem pela qual as perguntas são formuladas é determinada por informações auxiliares contidas na própria frame.

Essas informações indicam quais atributos são os mais críticos para a verificação que se está procedendo, qual dessas prioridades pode ser afetada pelas informações já disponíveis, etc. A medida que um novo atributo vai sendo estabelecido, sua descrição é adicionada a um pacote especial que contém informações específicas sobre a amostra, acrescido de dados que descrevem como essa informação foi obtida e o grau de confiança que podemos depositar nela.

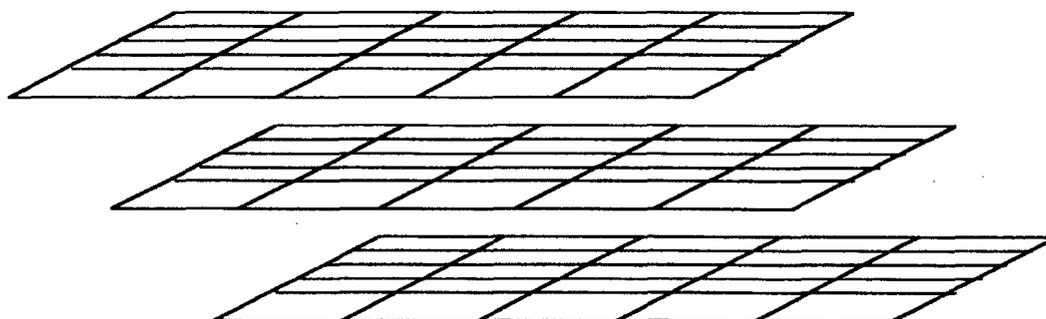
Claramente, nunca um modelo é capaz de descrever perfeitamente uma realidade. Cada violação detetada deve ser classificada como trivial, séria ou fatal e armazenada em um pacote especial.

Existem atributos como 'presença de ar' que podem ser descritos por estruturas binárias do tipo sim não e grandezas analógicas como temperatura, pressão, etc. cuja crítica está associada a algum intervalo de valores possíveis para essas grandezas.

#### 4.2.5.5 Imaginação espacial

Vamos definir uma frame espacial global como uma coleção de 'lugares típicos' em um espaço tri dimensional abstrato de tal forma que, toda vez que estou diante de uma cena mais complexa, cópias dessa frame espacial global são utilizadas para compor o sistema de frames associado a cada caso particular.

A frame espacial global está associada a um sistema de quadros que correspondem a diferentes vistas, cada vista descrevendo a aparência visual da frame espacial global do ponto de vista de algum observador. O quadro visual correspondente a qualquer lugar, por sua vez, é derivado da projeção das células que compõe a frame espacial global para aquele lugar.



*Figura 4.7 Exemplo de uma frame espacial global*

Imagine a frame espacial global como uma matriz 5x5 de lugares, com 3 níveis associados a cada lugar. As células centrais representando zonas próximas ao ponto de interesse. Para absorver informações visuais de múltiplos pontos de vista, precisamos de algum tipo de esquema do tipo 'endereçamento indireto' no qual os atributos visuais sejam designados para as frames através da 'frame espacial global' (como um esqueleto encima do qual se compõem todas as outras frames). Por exemplo;

☛ *Vendo*

Uma variedade de tipos de atributos visuais são detetados pelos 'atributos do tipo demônio' do sistema da retina e pós retina. Cada atributo é associado automaticamente com uma direção no campo visual.

☛ *Ativação de Frames*

Ao mesmo tempo, alguma frame objeto ou expectativa é designada tentativamente para algumas células da frame espacial global. Isto é o mesmo que dizer que cada terminal da frame está associado com algum ângulo de visão.

☛ *Instanciação*

Quando olhamos em uma certa direção, nós:

- esperamos ver certos atributos visuais em certas células;
- vemos, na realidade, outros atributos.

Portanto, é natural que se proponha uma teoria da visão de primeira ordem onde cada marcador associado aos terminais especifiquem, realmente, a locação proposta para uma célula da frame espacial global por alguma classe de demônio visual. O observador pode também ser representado dentro do sistema como um objeto.

Dado tudo isto o que o sistema tem que fazer é casar os pares associados à percepção (demônio-atributo; lista visual) com os pares (marcadores; células da frame espacial global) do esquemático. Se os terminais da frame-objeto puderem ser ligados diretamente às locações contidas na frame espacial global e se essas foram automaticamente projetadas dentro de listas visuais não haverá necessidade de recomputar coisas que já foram vistas de outros ângulos.

#### 4.2.5.6 Evolução

Nos primeiros degraus da escala evolutiva a luta pela sobrevivência levou à criação de detetores para o uso na alimentação, reprodução e defesa. O sistema de frames parece ser natural ao ser humano, do ponto de vista evolutivo.

#### 4.2.6 Scripts

##### 4.2.6.1 Conhecimento; forma e conteúdo

Faz parte da tradição, em matemática, que se ganha muito quando se separa forma e conteúdo. Os Sistemas de Conhecimento sobre os quais trabalhamos envolvem premissas ditadas pelo 'bom senso' (ainda que incorretas) que as pessoas fazem sobre si mesmas e os outros e problemas relativos às intuições primitivas que se tenha acerca da realidade física.

A *teoria da dependência conceitual* objetiva obter uma representação para os significados de sentenças. Os axiomas básicos dessa teoria são os seguintes:

- ☛ Para qualquer duas sentenças que tenham o mesmo significado, independente da linguagem, deve existir apenas uma representação. Este axioma possui um corolário importante, a saber:
- ☛ Qualquer informação em uma sentença que esteja implícita deve ser explicitada na representação do significado da sentença.

Estas duas regras conduzem a criação da seguinte estrutura, onde:

- ☛ Proposições significativas sobre a linguagem são chamadas de conceitualizações. Uma conceitualização pode ser ativa ou 'estativa'.
- ☛ Uma conceitualização ativa tem a forma "*Autor Ação Objeto*"
- ☛ Uma conceitualização 'estativa' tem a forma "*Objeto (está no) Estado (com valor)*".

A forma pela qual postulamos conceitualização (um autor fazendo alguma coisa a um objeto em uma direção), nos leva ao conceito de ações primitivas, ou seja, os tipos de coisas que o autor pode fazer. As ações primitivas na teoria da dependência conceitual são:

**Atrans-** A transferência de relações abstratas tais como posse, propriedade ou controle. Os verbos 'dar', 'tomar', 'comprar', etc. podem ser modelado como Atrans 'alguma coisa' de 'alguém'.

**Ptrans-** A transferência da locação física de um objeto.

**Propel-** É a aplicação de uma força física a um objeto.

**Move-** O movimento de uma parte do corpo de uma animal pelo animal.

**Grasp-** O ato do autor pegar um objeto.

**Ingest-** Ingerir.

**Expel-** Expelir.

**Mtrans-** A transferência de informação mental. Particiona-se a memória em: CP (processador consciente onde se pensa em alguma coisa) e LTM (memória de longo termo onde as coisas estão armazenadas).

**Mbuild-** A construção, a partir de uma informação anterior, de uma nova informação (considerou, decidiu, concluiu, imaginou)

**Speak -**A ação de produzir sons (miou, latiu, etc.)

**Attend-** É o ato de focar um órgão dos sentidos em direção a um estímulo.

'Contar' é mtrans entre pessoas; 'ver' é mtrans entre os olhos e CP; 'lembrar' é mtrans entre LTM e CP; 'esquecer' é a incapacidade de 'lembrar'; 'aprender' é mtrans de nova informação para a LTM.

Conceitualizações são frases que admitem valores e que fazem uso de um grande número de escalas. Estas escalas variam entre limites que, por convenção variam de -10 a +10. Alguns exemplos são:

Saúde	(morte -10, doença -?, tolerável +2)
Antecipação	(aterrorizado, nervoso, esperançoso, confiança)
Estado mental	(quebrado, deprimido, tudo certo, feliz, estático)
Estado físico	(fim da existência, danificado, O.K., perfeito)
Consciência	(morto, inconsciente, adormecido, desperto, excitado)

O símbolo 'seta para cima' indica causalidade. Se eu quiser representar a frase "João matou Maria", posso usar o seguinte:

*João DO*  
↑  
*Maria Saúde(-10)*

#### 4.2.6.2 Memória semântica e memória episódica

A idéia aqui é que, enquanto Bancos de Dados Semânticos são úteis para modelar o conhecimento adquirido em escolas, leitura de livros, etc., Bancos de Dados Episódicos são melhores para a modelagem de eventos.

Em resumo; Memória Semântica é uma memória para palavras, organizadas de forma hierárquica sob o critério de pertencer ou não pertencer a determinada classe. "Canário" pertence a classe 'pássaro' que por sua vez é uma subclasse de 'animal', etc. Memória Episódica, por outro lado, é organizada por proposições relacionadas pela sua ocorrência no mesmo evento ou intervalo de tempo. Uma viagem é armazenada na memória como uma seqüência de conceitualizações descrevendo o que aconteceu durante a viagem. Algumas dessas conceitualizações são enfatizadas, outras não.

#### 4.2.6.3 Cadeias causais

No Universo Físico as sintaxes causais podem ser representadas da seguinte forma:

CS1 - Ações podem resultar em mudanças de estado	$\wedge r$
CS2 - Estados podem capacitar ações	$\wedge E$
CS3 - Estados podem inibir ações	$\wedge dE$
CS4 - Estados (ou ações) podem inicializar estados mentais	$\wedge I$
CS5 - Estados mentais podem ser razão para ações	$\wedge R$

O trabalho sobre linguagem natural, se resume a análise de sentenças individuais. Alguns pesquisadores analisam de textos inteiros. Superficialmente, esta mudança de enfoque pode ser simples o bastante. Se alguém é capaz de entender sentenças individuais então, entender um texto seria equivalente a quebrá-lo em sentenças e aplicar os mesmos métodos. A verdade é que o significado de um texto é sempre maior que a soma dos significados das sentenças que o formam.

#### 4.2.6.4 Exemplo do uso de scripts

Como as pessoas organizam o conhecimento que possuem, de forma a entender? Nós podemos reconhecer dois tipos de conhecimento, *geral* e *específico*. O conhecimento geral nos permite entender e interpretar as ações de outra pessoa simplesmente porque a outra pessoa é um ser humano que compartilha conosco certas necessidades. Nós usamos nosso conhecimento específico para fazer frente a situações que nos acontecem diversas vezes.

Vamos nos deter, por enquanto, no conhecimento específico. A idéia por trás dos 'scripts' (papéis) é a de que o processo de inferência direta que empregamos para dar significado a um contexto resulta de uma cadeia de conexões causais e que essa cadeia causal é útil para a representação seqüencial de qualquer fluxo seqüencial de eventos. Dois mecanismos são necessários:

Primeiro devemos ser capazes de nos referir a uma seqüência de eventos que ocorre freqüentemente de uma forma mais global (um script). Basta que, para uma seqüência de 10 passos, por exemplo, nos refiramos ao primeiro e ao último.

Em segundo lugar, precisaremos de um mecanismo para recuperação de passos que tenham sido deixados de fora da cadeia causal. Alguns desses passos podem se mostrar necessários para entender uma dada seqüência de eventos.

Embora seja possível entender uma história sem usar um script, esses são importantes para a compreensão. Um script, como uma frame, é feito de terminais (slots) e requisitos que devem ser obedecidos para o preenchimento desses terminais. A estrutura é um todo interconectado e o que é colocado em um terminal afeta o que existe nos outros terminais. "Um script é uma seqüência pré determinada e estereotipada de ações que definem uma situação bem conhecida".

Scripts permitem novas referências a objetos neles contidos como se esses objetos tivessem sido previamente mencionados. Foi desenvolvido, em Yale, um programa de computador SAM (Mecanismo de Aplicação de Scripts) que é capaz de entender histórias simples, tendo sido testado, mais exaustivamente, com histórias acerca de restaurantes, embora nada impeça que se escrevam programas, por exemplo, para simular o comportamento de um trabalhador no piso de fábrica, bastando para isso um estudo das ações primitivas, de uma descrição do ambiente e dos diversos estados associados ao ser humano dentro de um ambiente de trabalho.

#### 4.2.6.4.1 O script de um restaurante

A seguir vamos apresentar um segmento correspondente a uma trilha do script de um restaurante (a sala do café).

Trilha: Sala do Café	Participam:
Props Mesa	S - Cliente
Menu	W - Atendente
F - Comida	C - Cozinheiro
Cheque	M - Recebedor
Dinheiro	O - Proprietário

Condições de Entrada:	Resultados:
S está com fome	S tem menos dinheiro
S tem dinheiro	O tem mais dinheiro
S não está com fome	
S está satisfeito (opcional)	

*Cena 1: Entrada*

S Ptrans S para dentro do restaurante

S Attend olhos para a mesa

S Mbuild onde sentar

W Ptrans S para a mesa

S Move S para a posição sentada

*Cena 2: Fazendo o pedido*

(menu sobre a mesa)

(W traz menu)

(S pede pelo menu)

S Ptrans menu to S

S Mtrans um sinal to W

W Ptrans W to mesa

S Mtrans 'preciso do menu' to W

W Ptrans W to menu

W Ptrans W to mesa

W Atrans menu to S

S Mtrans a lista de comida to CP (S)

\* S Mbuild escolha de F

S Mtrans sinal to W

W Ptrans W to mesa

S Mtrans 'Eu quero F' to W

W Ptrans W to C

W Mtrans (Atrans F) to C

C Mtrans 'não tem F' to W

C DO (prepara F script)

W Ptrans W to S

vai para a Cena 3

W Mtrans 'não tem F' to S

(volta para \*) ou

(vai para a Cena 4 para o caminho de não pagamento)

*Cena 3: Comendo*

C Atrans F to W

W Atrans F to S

S Ingest F

(opcionalmente retorna a Cena 2 e pede mais, ou vai para a Cena 4)

*Cena 4: Saindo*

S Mtrans to W

(W Atrans conta to S)

W Move (conta)

W Ptrans W to S

W Atrans conta to S

S Atrans gorjeta to W

S Ptrans S to M

~~Q~~

(caminho de não pagamento) S Ptrans S to fora do restaurante

#### 4.2.6.5 Aplicações de scripts

Para definir quando um determinado script deve entrar em ação é necessário definirmos cabeçalhos. Esses cabeçalhos associados ao script de um restaurante são conceitos que têm haver com idéias ligadas como fome, etc. Esses cabeçalhos se apresentam em quatro variedades, a saber:

*Cabeçalho de pré condição (PH)*

"João estava com fome" é um PH para o script do restaurante.

*Cabeçalho instrumental (IH)*

"João tomou o metrô para o restaurante" é um IH para os scripts 'metrô' e 'restaurante'. O metrô nessa frase é o instrumento pelo qual João vai ao restaurante.

*Cabeçalho de localização (LH)*

"Quando X estava no local Y ..."

*Cabeçalho de conceitualização interna (ICH)*

"João foi visitar sua amiga Maria que é uma atendente. Enquanto esperava por ela, pediu um hamburger"

#### 4.2.6.6 Interferências e distrações

Suponha que estamos no meio de um script e surge uma frase que não tem nada a ver. "João foi a um restaurante"; "Ele pediu coquilles de camarão"; "O tempo estava nublado".

Quando encontramos entradas inesperadas em um script, podemos perguntar:

- ☛ Esta entrada especifica ou implica a ausência de um capacitador para alguma ação? (*Obstáculo*)
- ☛ Esta entrada especifica ou implica que uma ação foi executada de uma maneira não usual, ou um objeto, outro que os instanciados no script, também foi instanciado de forma não usual? (*Erro*)
- ☛ Esta entrada especifica uma ação que pode ser entendida como a solução de uma interferência? (*Prescrição*)
- ☛ Esta entrada especifica ou implica a repetição de uma ação previamente executada? (*Loop*)
- ☛ Esta entrada especifica ou implica uma expressão de emoção pelo autor, como as que podem ser causadas por uma interferência? (*Reação*)
- ☛ Esta entrada especifica que o autor tem um novo objetivo que não tem nada a ver com o original? (*Distração*)
- ☛ Esta entrada especifica ou implica no abandono do script pelo autor? (*Abandono*)

Se qualquer uma dessas perguntas for respondida afirmativamente, isto implica num contorno dentro do script. Este caminho de contorno será seguido até que se reentre ou se abandone o script original.

#### 4.2.6.7 Interações entre scripts

Existem diversas maneiras pelas quais mais de um script pode estar ativo ao mesmo tempo. Em alguns casos o que ocorre é mais do que uma interferência ou distração, um script interfere a ponto de evitar ações do outro script.

"João estava comendo no carro restaurante"

"O trem parou bruscamente"

"A sopa do João derramou"

As duas primeiras sentenças ativam os script \$Trem e \$Restaurante. Quando dois scripts são acionados simultaneamente eles começam a competir por informações.

#### 4.2.6.8 Conclusão

Entendimento, segundo Shank e Abelson, seria um processo pelo qual as pessoas casariam aquilo que vêem e ouvem com grupos de ações pré-armazenadas experienciadas anteriormente. Por esta abordagem, o homem é visto como um processador que só compreende o que compreendia anteriormente. Nós humanos estamos equipados com milhares de scripts que usamos quase que de forma inconsciente para compreender o mundo e a nós mesmos.

#### 4.2.7 Esquemáticos e processos de pensamento seqüenciais em modelos PDP

Esquemas são definidos como estruturas de dados que representam os conceitos gerais armazenados na memória. Temos esquemas para conceitos gerais associados a objetos, situações, eventos, seqüência de eventos, ações e seqüência de ações. Falando de forma grosseira, esquemas são modelos do mundo exterior. Processar informações com o uso de esquemas é determinar qual modelo melhor se aproxima da informação de entrada ou, em último caso, determinar um sistema de configurações que melhor descreva essas entradas. Esta configuração de esquemas se constitui na interpretação da entrada.

Algumas tentativas foram feitas para especificar concretamente a natureza exata dessas estruturas de alto nível. Rumelhart (1975) escolheu, como representação de um esquema, uma notação rica em capacidade de geração; ele reescreveu as regras associadas à linguística. O caráter não procedural de tais sistemas os impedem, no entanto, de representar 'tudo o que se pretende' quando se fala em esquemas. Minsky (1975), Schank e Abelson (1977), empregaram estruturas de dados passivas, com terminais e valores default explícitos. Essas estruturas são melhores, mas não são ativas e parecem não ser suficientemente flexíveis e geradoras como é requerido.

Rumelhart (1977) propôs que o esquema fosse modelado como um tipo especial de procedimentos. Tentativas de se construir modelos baseados em suas idéias falharam até o presente.

As restrições associadas às variáveis determinam se um candidato em particular é um valor passível de ser atribuído à variável ou se o valor da variável deve permanecer não preenchido, ou se devemos atribuir algum valor default. Estas restrições não são absolutas, podem, inclusive, ser distribuições estatísticas. Se por um lado se propõe esquemas como um modelo para a mente, por outro lado exige-se que esses sejam suficientemente maleáveis; que sejam capazes de se ajustar a praticamente todas as coisas. Esquemas não são entidades explícitas, mas estão implícitos em nosso conhecimento e são criados pelo mesmo ambiente que se propõe a interpretá-los.

Nos modelos PDP o processo de representação e tratamento do conhecimento parte de uma conceitualização de uma rede de processamento distribuído em paralelo como sendo uma **Rede de Restrições** na qual *cada unidade* representa uma hipótese de algum tipo, por exemplo que um certo atributo semântico, visual ou acústico está presente na entrada. e onde *cada conexão* representa restrições dentro da hipótese. Se, por exemplo, se espera que o atributo B esteja presente, ou não, sempre que ocorra A, devemos indicar isso por uma conexão positiva, ou negativa, entre a unidade que representa a hipótese A e a unidade que representa a hipótese B. As restrições têm peso proporcional a sua força.

Devemos pensar nas entradas desse tipo de rede, de forma similar. Uma entrada positiva para uma determinada unidade significa que há evidência, para quem está olhando de fora, que o atributo associado à unidade está presente. Após estabelecermos a rede e suas entradas, rodamos um programa que busca o estado ótimo em relação às restrições. Diz-se que o sistema relaxou, quando atingiu este estado ótimo.

No caso redes compostas por  $n$  unidades binárias onde um atributo pode estar ou não presente temos  $2^n$  estados possíveis. No caso de unidades que podem assumir valores contínuos, o número de estados cresce ao infinito. Apesar disso, por causa das restrições impostas ao sistema, só existirão uns poucos estados onde o sistema pode relaxar.

*"O sistema recebe entradas. Estas entradas ativam um conjunto de unidades. Estas unidades estão interconectadas umas as outras, formando uma Rede de Restrições. As entradas determinam o estado inicial do sistema e a forma exata a qual este deve se ajustar. O sistema então se move em direção a algum ponto ótimo".*

Quando o sistema atinge um desses estados relativamente estáveis não demonstra tendências para migrar em direção a um outro estado. Os estados, eles mesmos, são o produto da interação entre muitos grupos de unidades. Certos grupos, ou sub-padrões de unidades, tendem a agir em comum. Eles ativam uns aos outros ou inibem as mesmas unidades. O padrão estável do todo pode ser visto como uma superposição de padrões de tais grupos e é determinado pelo equilíbrio dinâmico de todos esses sub-padrões interagindo um com o outro e com as entradas. O processo de aprendizagem, segundo esse modelo, consiste no ajustamento da força das conexões. Vamos a um exemplo:

Considere nosso conhecimento de diferentes tipos de quartos. Nós todos temos uma idéia típica de como deva ser um banheiro ou uma cozinha. Sabemos que salas de estar tem sofás, poltronas e mesinhas de centro e que, usualmente, não tem fogões, camas, etc. Por outro lado, salas de estar, banheiros e cozinhas podem ter telefones, carpetes, etc. Para começar nós precisamos criar uma Rede de Restrições que incorpore todo o conhecimento que temos a respeito de quartos. Seja;

40 Descritores para tipos de quartos				
teto	paredes	porta	janelas	muito grande
grande	médio	pequeno	muito pequeno	mesa
telefone	cama	máq. escrever	estante	carpete
livros	cad. mesa	relógio	quadro	lâmp. teto
sofá	cad. bal.	copo café	cinzeiro	lareira
cortinas	aquecedor	pote café	geladeira	torradeira
jarra	pia	guarda roupa	televisão	chuveiro
banheiro	escala	forno	computador	cabides

Figura 4.8 Descrevendo tipos de quartos

O experimento consiste em perguntar a dois indivíduos que imaginem um escritório, uma sala de estar, uma cozinha, um banheiro e um quarto de dormir (um de cada vez) e perguntamos a eles quais descritores são corretos para aquele escritório, cozinha, etc. Depois pedimos aos mesmos indivíduos que imaginem outros escritórios, cozinhas, etc., num total de 16 julgamentos dos 40 descritores para cada um dos 5 tipos de quartos. Com esses dados construímos nossa rede. Os pesos relativos foram setados de acordo com a seguinte equação:

$$W_{if} = - \ln \frac{p(x_i = 0 \ \& \ x_k = 1)p(x_i = 1 \ \& \ x_k = 0)}{p(x_i = 0 \ \& \ x_k = 0)p(x_i = 1 \ \& \ x_k = 1)}$$

Esta equação deriva da probabilidade que a unidade  $x_j$  esteja ativa dado que a unidade  $x_k$  está ativa e vice versa. Quatro aspectos dessa equação devem ser notados:

Se as duas unidades tendem a estar 'on' ou 'off', juntas (isto é; a probabilidade que  $x_i=x_k$  é muito maior do que a probabilidade de  $x_i$  ser diferente de  $x_k$ ), então  $W$  será um valor grande e positivo. Caso contrário teremos um valor grande e negativo. Se as duas unidades ficarem 'on' e 'off' independentemente ( $p(x_j=v_1 \ \& \ x_k=v_2) = x_j=v_1 * x_k=v_2$ ),  $W$  será zero. Os pesos são simétricos ( $W_{jk} = W_{ki}$ ). Adicionalmente, cada unidade tem uma polarização (entrada constante), a qual é dada por:

$$bias_i = - \ln \frac{p(x_i = 1)}{p(x_i = 0)}$$

Observe que se uma unidade está normalmente inativa ('off'), seu bias é negativo. Com isto podemos montar uma matriz  $M[40 \times 40]$  com os pesos relativos entre os diversos descritores. Uma maneira de processar esse sistema é, por exemplo, setar um descritor na entrada (atribuir 1) e deixar o sistema rodar até encontrar algum ponto de estabilidade (máximo). Por exemplo, se o descritor for 'forno', ele começa com forno e teto 'on' e depois acrescenta copo de café (fraco), pia, refrigerador, conclui que a sala é pequena, acrescenta torradeira, etc; em outras palavras, um protótipo para o conceito de cozinha.

Podemos imaginar um hipercubo em 40 dimensões. Como, para cada unidade, temos um valor mínimo e um valor máximo, cada ponto do hipercubo é um estado possível do sistema. Os estados onde todas as unidades estão ou no seu valor mínimo ou no seu valor máximo correspondem aos cantos do hipercubo. Agora, cada máximo da nossa rede fica em um dos cantos do hipercubo. Podemos plotar a topologia associada aos estados que dão um máximo para cozinha, escritório, etc.

#### 4.2.7.1 Propriedades de esquemas em redes de restrição

##### ☛ Esquemas têm variáveis

Essencialmente, as variáveis de um Esquema correspondem àquelas partes dos padrões que não estão completamente determinadas pela própria estrutura do padrão. Em alguns casos existem conjuntos de unidades que se inibem mutuamente de tal forma que somente uma pode estar ativa de cada vez embora qualquer delas possa ser combinada com a maioria das outras. Tais conjuntos de unidades podem ser considerados como um terminal (slot) que é preenchido no decorrer do processamento das entradas.

##### ☛ Esquemas podem conter ou ser contidos por esquemas

Numa interpretação estruturada, esquemas podem ser vistos como estruturas em árvore na qual sub-esquemas são tipos de sub-árvores que podem preencher os campos associados a variáveis. Sub-esquemas correspondem a pequenas configurações de unidades que podem fazer parte de muitos padrões estáveis por si mesmo. Considere por exemplo o par de unidades cortina e janela. Nós podemos nos referir a este padrão como correspondente ao sub-esquema janela.

##### ☛ Esquemas representam conhecimento em todos os níveis

Os esquemas devem representar um conhecimento enciclopédico e não informação de definição. Isto é o mesmo que dizer que qualquer sub-padrão coerente deveria ser considerado como um esquema, da mesma forma que o padrão como um todo. Também sugere que conhecimento, de todo o tipo, deva ser representada nas interconexões entre as unidades constituintes.

### ☛ Esquemas são processos ativos

Devem ser vistos como um tipo de ser orgânico que cresce e se alimenta dentro do seu ambiente. Esquemas são dispositivos de reconhecimento cujo processamento está voltado para o cálculo da função de melhor adaptação (goodness-to-fit) aos dados que estão sendo processados. Um método para se chegar a um esquema ótimo, seria o de plotar em um "espaço de qualidade (goodness)" a função "qualidade da representação" e, através do cálculo do gradiente dessa função, determinar o máximo, ou o pico. O processamento do sistema é dirigido no sentido de 'subir a montanha', ou seja, acompanhar o gradiente da função "goodness da representação".

#### 4.2.8 Processamento distribuído em paralelo e o pensamento

##### ☛ O Conteúdo da Consciência

Embora desnecessário para o argumento que se segue, assume-se que exista um subconjunto relativamente grande de unidades no sistema, cujo estado de atividade determina o conteúdo da consciência. Imaginamos que o tempo médio de atividades dessas unidades seja da ordem de centenas de milissegundos e que esta atividade descreva o conteúdo da consciência; ou seja, imaginamos seja esse o tempo que levamos para processar situações e atingir estados mentais estáveis.

Tipicamente a consciência contém uma simples interpretação e consiste de uma seqüência dessas interpretações. Há ocasiões nas quais o processo de relaxação é especialmente lento o que leva a uma impressão difusa ou pouco clara do fenômeno provocador dessa demora.

##### ☛ O Problema do Controle

Uma crítica comum a esse tipo de modelo baseado em um processamento onde se atinge um estado de relaxação que, de certa forma, corresponde a um estado mental estável acomodado às mudanças do meio ambiente é a de que ele realmente não pode mudar sem a ocorrência de estímulos externos. Se nós estivermos num meio ambiente com estímulos fixos o sistema relaxará em um estado estável e ficará lá eternamente. Dois argumentos contra esta crítica. Primeiro que o ambiente está sempre mudando; segundo que a própria resposta ao estímulo externo, freqüentemente, conduz a alguma ação que muda este meio ambiente.

##### ☛ Modelos Mentais

Suponha, para fins de argumentação, que o sistema seja quebrado em duas partes; dois conjuntos de unidades. Uma parte é aquela sobre a qual nós discutimos até agora, onde entradas são recebidas por unidades de entradas, processadas até um ponto de relaxação o qual se traduz em alguma ação que, por sua vez, muda as entradas do sistema. A outra parte do sistema é similar em natureza, exceto no sentido de que é um modelo do mundo sobre o qual estamos atuando.

Isto consiste de uma Rede de Relaxação onde se assume, como entrada, alguma especificação das ações que nós pretendemos realizar e fornece como saída "o que aconteceria se nós tomássemos essas ações" (o conjunto dos novos estímulos de entrada seria um subconjunto).

Este segundo pedaço do sistema é o que nós chamamos de Modelo Mental dos eventos que acontecem no Universo. Opera em qualquer situação, não só gerando expectativas acerca do estado do mundo como predizendo as saídas resultantes das ações.

#### ☛ Conversações: Reais e imaginárias

Podemos imaginar conversas entre duas mentes imaginárias simuladas em computador, usando esse conceito de processamento interno para representar a interação entre as diversas sub-unidades de uma entidade autopoietica.

#### ☛ Representação externa e raciocínio formal

Existe uma discussão não resolvida se os sistemas humanos de processamento de informação operam pelo 'encontro' de soluções ou se se utilizam de operadores lógicos. A questão fundamental, no entanto, consiste em saber porque os seres humanos são tão inteligentes ou, pelo menos, se julgam assim a si próprios?

Uma hipótese defendida por muitos é a de que seres humanos possuem a habilidade de criar artefatos; representações físicas que podem ser manipuladas de maneira simples de forma a obter respostas a problemas difíceis e abstratos.

Essas habilidades são;

a)Somos especialmente bons em associar padrões. Esta habilidade é central para percepção, lembrança e compreensão.

b)Somos bons em modelar nosso mundo (adaptabilidade)

c)Somos bons no processo de manipulação de nosso meio ambiente (Homo Faber)

#### ☛ Simulação mental e prática mental

Este modelo permite simulações. O desempenho envolve duas partes; um sistema que determine o que fazer em qualquer situação dada e outro que faça previsões do resultado destas ações.

#### ☛ Direção a objetivos no pensamento

Essa discussão, até agora, deixou de lado um problema central, qual seja o papel que os objetivos representam tanto no pensamento como na solução de problemas. Nossos objetivos ou intenções interagem com os estímulos (externos e internos) que fornecem as entradas para o processo de pensamento.

Além disso, objetivos organizam sequências inteiras de pensamento em uma atividade coerente de solução de problemas e a noção de que objetivos podem ser hierarquizados é central para a compreensão dessas sequências. Esse conceito é básico em mecanismos que funcionam com base em regras de produção. No modelo PDP objetivos podem ser representados como padrões de ativação.

### 4.3 A questão dos símbolos

Um símbolo recém cunhado é como uma criança que não possui idéias próprias ou experiências, ela emprega as opiniões e experiências dos seus pais imitando-os. Gradualmente, a medida que o símbolo interage mais e mais com o resto do mundo, a criança adquire sua próprias experiências e, inevitavelmente, começa a se diferenciar do símbolo de classe. Esse símbolo pode, inclusive, se tornar num símbolo de classe.

Se eu disser a alguém que fui assistir a um filme, esse alguém iniciará a construção de um novo símbolo ligado a esse filme em particular, mas na ausência de maiores informações, esse novo símbolo terá que aprender utilizando-se do símbolo preexistente associado a classe 'filme'. Inconscientemente esse alguém vai se apoiar num conjunto de pressuposições acerca daquele filme, que ele deve durar entre uma e três horas, que ele será apresentado em determinado cinema, que a história é sobre determinado assunto, etc.

Estas são construções dentro dos símbolos de classe como ligações com outros símbolos e são chamadas de 'opções default' (default é uma palavra muito usada por quem trabalha em software e significa uma espécie de dado que é sempre empregado na ausência do dado real).

Em qualquer símbolo associado a exemplo, recém cunhado, essas 'opções default' podem facilmente ser atualizadas com os dados reais, mas a menos que isso seja explicitamente feito, elas permanecem associadas ao símbolo como heranças do símbolo associado a classe.

Filosoficamente, a questão mais importante é saber se devemos considerar um símbolo como novo ou como dormente.

Afinal, todos os nossos neurônios são formados durante o primeiro ano de vida. Em outras palavras, aprender não é um processo de fora para dentro mas antes de dentro para fora. Para descobrir quantos 'símbolos' existem em nosso cérebro, devo enumerar os 'ativos' e os 'dormentes'. Como diferenciar esses últimos dos 'novos'.

Estes estágios de crescimento e eventual 'desligamento' de um símbolo associado a exemplos são distinguíveis uns dos outros pela forma com que os envolvidos estão conectados. As imagens mentais, em vários graus de especificidade devem ser consequência das seguintes formas de ativação:

- vários modos de ativação de um único símbolo de classe.
- ativação simultânea de vários símbolos de classe de alguma forma coordenada.

- ☛ ativação de um único símbolo de exemplo.
- ☛ ativação de um único símbolo de exemplo em conjunto com a ativação de vários símbolos de classe.
- ☛ ativação simultânea de vários símbolos de exemplo e vários símbolos de classe de forma coordenada.

Quando é que um símbolo é um subsistema que se possa distinguir no cérebro? Devo considerar um símbolo como 'novo', ou será que ele estava apenas 'dormente' e que esteja sendo ativado? Se eu quiser enumerar todos os símbolos existentes no cérebro humano, devo contar todos os dormentes, todas as possíveis combinações e permutações de todos os tipos de ativação e de todos os tipos de símbolos, incluindo as criaturas fantásticas que inventamos enquanto estamos adormecidos?

Com esse enorme e sempre crescente repertório de símbolos que existem em cada cérebro, pode-se imaginar que chegará um dia em que o cérebro estará saturado, quando não haverá mais espaço para novos símbolos. Se os símbolos não tivessem partes comuns, se um dado neurônio não servisse a mais de uma função a imagem do cérebro seria a de um elevador com uma placa de aviso: "Atenção: este cérebro tem uma capacidade máxima de 350.275 símbolos".

Em realidade, superposições (áreas comuns); neurônios pertencendo a mais de um símbolo, parecem ser a regra geral. Isto se torna um pouco complicado porque, se for verdade, poderíamos extrapolar dizendo que todo neurônio é parte de todo o símbolo, o que nos levaria ao modelo holográfico de Karl Pribram. Se tal modelo fosse aceito, não seria possível localizar nenhum símbolo. Cada um representaria o cérebro como um todo, o que explicaria o fracasso de Lashley ao tentar localizar, no cérebro dos ratos, o conhecimento destes acerca de como sair do labirinto. Seria impossível se visualizar o cérebro como composto de vários subsistemas. Definimos símbolo como sendo a realização de um conceito em hardware. Se cada um deles fosse construído a partir dos mesmos neurônios que todos os outros, não haveria sentido em se falar em 'símbolos diferentes'. Só existiria um, reflexo do todo.

Existe uma maneira de se sustentar uma teoria baseada em símbolos, ainda que, fisicamente, esses apresentem áreas comuns a outros, ou mesmo que sejam indistinguíveis. Considere a superfície de um lago onde diversos tipos de onda são possíveis de ocorrer. O hardware (a água cristalina do lago) é a mesma qualquer que seja a situação. Como resposta aos infinitos tipos de excitação possíveis, o software pode obter respostas que sejam distinguíveis (ondas sempre diferentes).

Por essa analogia, não queremos propor que todos os diferentes tipos de símbolos sejam ondas se propagando através de um meio nervoso uniforme. O que importa considerar aqui é que, talvez, para que se faça a distinção quanto a ativação ou não, deva-se considerar não apenas quais neurônios estão envolvidos, mas a ordem em que eles disparam, a taxa com que isso é feito, etc.

Redes semânticas, lógicas, regras de produção, bolhas de conhecimento, alógrafos, scripts, frames, objetos, etc. existem em nossos cérebros, armazenados em algum lugar. Os modelos mentais que criamos também estão lá. A pergunta chave é a de saber como ordenamos as informações em redes, scripts, frames e outras estruturas que, por certo, vão emergir, no esforço da comunidade científica em simular a mente humana através de máquinas.

Concordamos com de Kleer e Brown (1988) em que devemos buscar um esquema onde a meta-restrição exigiria que não fossem utilizadas nenhuma regra e que o modelo fosse capaz, por si só, de construir seu esquema de reconhecimento.

#### ☛ Modelos Mentais

Em qualquer representação do conhecimento, existem informações relativas a domínios específicos. O que entendemos por modelos mentais é a representação desse conhecimento específico. Tais modelos são necessários para representar um mundo onde sistema dinâmicos, fenômenos físicos naturais e outros, reclamam por nossa compreensão.

Os fenômenos físicos pertencem a diferentes domínios, como eletricidade, calor, movimento, etc. e o conhecimento específico varia desde um 'senso comum' à maioria das pessoas até as concepções de especialistas. O que é particularmente importante é a simulação qualitativa do fenômeno ou sistema. Um editor de mundos é necessário se quisermos simular o meio ambiente onde evoluem entidades autopoieticas que são, dele mesmo, indissociáveis.

## CAPÍTULO QUINTO

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - PARTE IV

### TEORIAS DE APRENDIZAGEM

Segundo Maturana e Varela (Maturana, 1972), são dois os mecanismos possíveis, capazes de dar origem às reproduções seqüenciais características dos sistemas autopoieticos: primeiro a existência de um mecanismo copiador independente e, segundo, a auto-reprodução, que se efetua a partir das coincidências entre o mecanismo reprodutor e o de constituição da unidade, ou seja, pela similaridade entre esquemas existentes internalizados e outros, externos, que podem ser assimilados ou acomodados. O processo de cópia independente pode ser exemplificado pela aprendizagem cultural onde a geração anterior é o mecanismo copiador independente que 'instrui', ou seja, grava no ser em formação os princípios que a norteiam. De certa forma esse tipo de mecanismo é um 'inatismo genético' que atua em sistemas autopoieticos de maior ordem; família, sociedade, 'polis', do qual fazemos parte.

A tese central das concepções construtivistas é, portanto, que o conhecimento não é algo que se recebe passivamente, posto que o sujeito cognoscente (o educando) o constrói a partir de sua atividade intelectual, sendo essa atividade, em si, regulada pelo prazer, ou seja, sendo passível de ser modelada pelas teorias do afeto. A função de seu sistema cognitivo consiste em organizar o mundo de sua experiência mediante um processo contínuo de assimilações e acomodações. O conhecimento é sempre contextual, nunca separado do sujeito cognoscente, constituindo-se em seu *domínio cognitivo*. "*O organismo é contextualizado em seu meio, mas a própria idéia de meio se transformou. Meio não é mais um pano de fundo fisico-quimico, passivo e contextual. É, antes, um sistema global de inter influências biopsicossociais: é ecológico e também etológico. Com essa nova biologia, morre o biologismo, nascem novos conceitos de natureza e de animal*" (Morin, 1975)

Psicólogos da linha de Gestalt (Wertheimer, 1959) distinguem dois tipos de aprendizagem para solução der problemas: 'aprendizado conduzido' e 'entendimento'. A diferença está na distinção entre se "conseguir a resposta correta" e "entender o que se está fazendo". A psicologia "cognitiva" investiga como os sistemas autopoieticos conhecem ou obtém conhecimento a respeito do seu mundo e de como utilizam esse conhecimento para guiar suas decisões e realizar ações mais eficazes. Os psicólogos cognitivistas procuram compreender a "mente" e suas capacidades (ou realizações) na percepção, na aprendizagem, no pensamento e no uso da linguagem. Investigam, portanto, os "processos centrais" do indivíduo, dificilmente observáveis, tais como: organização do conhecimento, processamento de informações, aquisição de conceitos, estilos de pensamento, comportamentos relativos à tomada de decisões e resolução de problemas.

A abordagem cognitivista enfatiza os processos cognitivos e a investigação científica. Considera as formas pelas quais os indivíduos lidam com os estímulos ambientais, organizam os dados, resolvem problemas e empregam símbolos verbais. Dessa forma, os processos pelos quais a aprendizagem se realiza assumem papel predominante: *O ponto fundamental do ensino consiste em processos e não em produtos de aprendizagem.*

Quando se fala, no campo das matemáticas por exemplo, de funções, superfícies, etc., nenhum destes conceitos corresponde, em sentido estrito, a um fenômeno do mundo material. São resultado da abstração reflexiva do sujeito, que organiza sua experiência em esquemas de ação intelectual, isto é, em modelos. Para compreender uma situação, um conceito matemático, é necessário decodificar uma certa dose de informações. Por exemplo, se o tema de estudo são as funções, os gráficas dessas funções representam um modelo que nos permite compreender noções como função monótona, função contínua, etc. Esse modelo pode, em determinadas condições, não demonstrar a mesma utilidade. O modelo geométrico das funções é adequado se estamos considerando funções deriváveis. Porém se consideramos funções contínuas sem derivada, este modelo somente nos pode prestar um auxílio muito parcial já que tais funções não se podem graficar. Vários modelos correspondendo a diferentes conceitos podem ser necessários. Os objetos matemáticos são analisados ao nível de modelos simbólicos (como no exemplo precedente); estas ações simbólicas permitem a geração de relações entre diferentes objetos e entre diferentes representações de um mesmo conceito. Desta maneira se avança até a construção de modelos cada vez com maior nível de organização conceitual (e formal).

Aprendizagem humana e aprendizagem de máquina são duas faces de uma mesma moeda. Os avanços em qualquer uma dessas áreas contribui para nossa compreensão de como sistemas autopoieticos evoluem dentro de seus diversos domínios de expressão.

### 5.1 Aprendizagem Humana

Experiências a nível neurobiológico têm demonstrado que, a um nível neuronal, o treinamento implica num fortalecimento das ligações sinápticas. A Regra de Hebb estabelece que as sinapses entre neurônios que disparam juntos se fortalecem sempre que a sincronicidade é acompanhada por uma recompensa. Com o treinamento, a sensibilidade das células pós sinápticas à entradas excitatórias, uma propriedade conhecida como ganho, é aumentada na sinapse de tal forma que uma nova entrada gera correntes maiores nos dendritos. Apesar dos avanços da neurobiologia o hiato entre o 'hardware' cerebral e o comportamento ainda é grande.

Segundo Jean Pierre Changeaux (1990), os sinais, dentro do cérebro, são elétricos ao longo dos neurônios e químicos entre as sinapses e no interior das células. Esse hiato, entre o nível físico dos sinais e o complexo nível dos símbolos, segundo ele, estaria a beira de ser transposto.

Como consequência das dificuldades de se partir de um paradigma biológico, a maior parte das pesquisas feitas pelas Ciências Cognitivas sobre a aprendizagem humana, têm se focado na aprendizagem de procedimentos.

Brown & VanLehn (1988) defendem que a aprendizagem ocorre como decorrência de situações de impasse. Esta noção está associada com a idéia de Schank sobre uma aprendizagem dirigida por falhas. Quando um estudante não consegue resolver um determinado problema, ele evoca um procedimento de reparo capaz de lidar com o impasse. Este procedimento, na maioria das vezes leva a construção de um buggly (procedimentos incorretos).

A teoria ACT de Anderson (1988) apresenta um modelo de aprendizagem em três estágios. O primeiro: *estágio interpretativo*; corresponde ao uso do conhecimento declarativo para resolver o problema, da mesma forma que um programa de computador é visto como um 'dado' pelo compilador que o processa. Conhecimento declarativo é aquele que temos sob as coisas do mundo. "Sócrates é mortal"; "Maria é bonita"; etc.

O segundo estágio é chamado de *compilação de conhecimento* onde produções que ocorrem repetidamente no estágio interpretativo são compostas em termos de pares de produção pela atribuição de valores às variáveis.

O terceiro estágio, '*tuning*', corresponde ao refinamento deste conhecimento procedural pela generalização, discriminação e atribuição de pesos às diferentes produções. Conhecimento procedural é aquele que estabelece um 'saber fazer', um procedimento: o que precisamos fazer, como e em que ordem para 'produzir' determinado resultado.

A Teoria ACT é uma tentativa de construir uma arquitetura geral para o conhecimento humano e emprega redes semânticas para representar o conhecimento declarativo e sistemas de produção para representar o conhecimento procedural.

O interesse em se compreender como é que nós humanos construímos nossos conhecimentos, quer sejam declarativos, quer sejam procedurais é de capital importância se quisermos escrever programas que construam as heurísticas gerais e particulares que empregamos quando estamos diante do novo.

### 5.1.1 Aquisição de Habilidade de Conhecimento

São necessárias pelo menos 100 horas de aprendizagem e prática para se adquirir qualquer habilidade cognitiva significativa. Aprender uma linguagem nos toma dezenas de milhares de horas. Fitts (1964) propôs três estágios de desenvolvimento para aquisição de conhecimento:

- ☛ *Estágio Cognitivo*; que envolve a codificação da habilidade de forma suficiente a permitir o comportamento desejado.
- ☛ *Estágio Associativo*; onde os erros são gradualmente detectados e eliminados.
- ☛ *Estágio Autônomo*; onde a habilidade cresce continuamente.

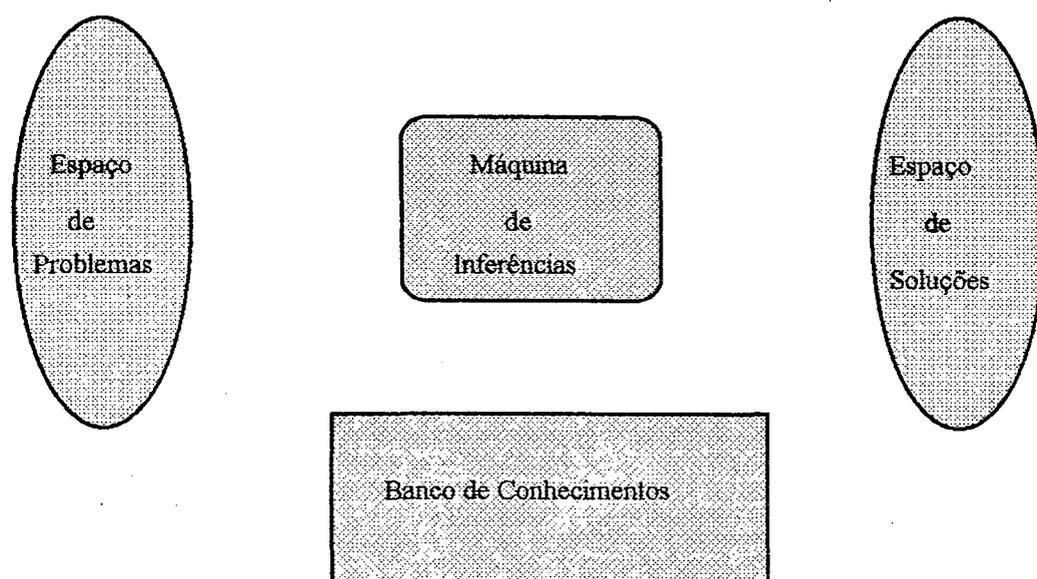
O segundo estágio de Fitts é visto, por Anderson, como uma transição. Com a prática, o conhecimento é convertido na forma procedural, a qual é aplicada diretamente sem a intercessão de outras rotinas interpretativas. A forma gradual pela qual o conhecimento declarativo é transformado em conhecimento procedural é denominada *compilação de conhecimento*. Anderson, a partir de Fitt, propõe, portanto:

☛ *Estágio Declarativo*

Corresponde ao estágio cognitivo de Fitts, onde a mediação verbal é importante, visto que os fatos devem ser lembrados na memória de trabalho de forma a estarem disponíveis aos procedimentos interpretativos.

☛ *Estágio Procedural.*

O Sistema de Produção ACT, base da teoria de Anderson, consiste de um conjunto de produções que operam sobre fatos do banco de dados declarativo. Em outras palavras, estabelecemos o nosso conhecimento a respeito do mundo e armazenamos essa informação em um banco de dados de conhecimento. Para cada problema existiria uma máquina de inferências contendo as regras que devem ser seguidas para se chegar ao resultado correto.



*Figura 5.1 O Sistema de Produção ACT de Anderson*

Um exemplo de aplicação do modelo para solução de um problema de adição seria o seguinte:

**Produções****Regras de Produção**

- P1 IF (se) o 'goal' (objetivo); é realizar um problema de adição  
THEN (então) o sub-objetivo é interagir através das colunas do problema.
- P2 IF o goal é interagir através das colunas de um problema de adição e a coluna mais a direita ainda não foi processada  
THEN o sub-objetivo é interagir através das linhas da coluna mais a direita e setar o total sendo calculado em zero.
- P3 IF o goal é interagir através das colunas de um problema de adição e uma coluna acabou de ser processada e existe uma outra coluna a esquerda.  
THEN o sub-objetivo é interagir através das linhas da coluna da esquerda,  
setando o vai um (carry).
- P4 IF ...  
THEN ...

Todo sistema de produção requer que existam regras capazes de resolver eventuais conflitos. Quando uma pessoa aprende inicialmente algo acerca de uma habilidade, esse algo são fatos acerca da habilidade. Esses fatos são interpretados por regras de produção gerais e então transformados em procedimentos. Um sistema realmente construtivista deveria ser capaz de adicionar conhecimentos ao seu banco de dados e de utilizar heurísticas gerais capazes de acrescentar novas regras ao seu motor de inferências num processo de equilíbrio/desequilíbrio como o proposto por Jean Piaget.

### 5.1.2 Teoria dos Consertos: Uma Teoria Generativa de 'bugs' em Talentos Procedurais

Para se entender como se processa a geração de um 'bug', a constatação de que determinado procedimento, no qual acreditávamos, não está funcionando, devemos compreender o processo global que se emprega na modelagem da aprendizagem; Temos:

- ⊗ Representação de uma dada habilidade procedural. (Somar por exemplo)
- ⊗ Conjunto de princípios para deleção de fragmentos do procedimento correto.
- ⊗ Conjunto de heurísticas de reparo.
- ⊗ Conjunto de críticas que permitam a filtragem desses reparos.

#### ☞ Representação de uma dada habilidade procedural

A forma como os procedimentos são representados impactam a teoria de aprendizagem como um todo.

Algumas das questões envolvidas englobam a decomposição da habilidade em primitivas e o uso de uma linguagem que expresse o procedimento. Primitivas são como os passos de uma receita de bolo escrita para quem nunca fez um bolo na vida e a linguagem deve ser tal que esses passos possam ser compreendidos pelo usuário.

A linguagem que se usa aqui deriva da utilizada em sistemas de produção onde regras se habilitam a 'rodar' quando determinadas condições para que isto aconteça se tornam verdadeiras, ou seja, a todo momento se verifica 'o estado do mundo' e, quando determinadas condições são preenchidas, as regras que são 'disparadas' por essas condições passam a comandar o 'show'.

As condições as vezes implicam em que mais de uma regra pode 'rodar' simultaneamente. Para se resolver o conflito gerado as seguintes estratégias de resolução de conflito são utilizadas de forma a eliminar as ambigüidades, a saber:

- ◊ *Tente somente uma vez*: Se esta regra foi executada anteriormente e o objetivo (goal) que se busca desta vez é o mesmo que o da vez anterior, elimine esta regra.
- ◊ *Tente primeiro as regras para casos especiais*: Se as condições desta regra são um subconjunto das condições de outra regra elegível (isto é; a outra regra é um caso especial desta regra), então elimine esta regra.
- ◊ *Estipule uma ordem*: Se ainda existem mais do que uma regra elegível, tome a primeira da lista.

Vamos exemplificar o conceito de ações primitivas e pré condições utilizando a habilidade de subtração: Seja, *TC*, primeiro argumento, o lugar da memória que vai armazenar o minuendo, *BC*, segundo argumento, o que vai armazenar o subtraendo e *AC*, terceiro argumento, o que vai armazenar o resto, variáveis que representam células associadas a uma coluna. As ações primitivas e as pré condições para que as mesmas sejam executadas são as seguintes:

<i>Ação Primitiva</i>	<i>Descrição</i>	<i>Pré-condições</i>
<i>Diff</i>	Subtraia o dígito contido no segundo argumento do dígito contido no primeiro argumento e escreva o resultado no terceiro argumento.	O segundo argumento não pode ser maior que o primeiro argumento
<i>Decr</i>	Subtraia um do dígito contido no argumento e escreva o resultado na mesma célula.	O dígito de entrada deve ser maior que zero
<i>WriteAns</i>	Escreva o dígito contido no primeiro argumento no segundo argumento.	Nihil
<i>Add10</i>	Some 10 ao dígito contido no argumento e escreva o resultado na mesma célula.	Nihil
<i>Write9</i>	Escreva um 9 no argumento	A célula não pode, originalmente, ser uma célula em branco

#### ◊ **Princípios para deleção de fragmentos do procedimento correto.**

Porque as pessoas erram? Como e porque deletam (pulam) ou modificam alguns passos do procedimento correto?

Imaginemos que uma regra R3;  $\{(Branco? BC)\} \rightarrow \{(WriteAns TC AC)\}$ , ou seja, "Se estiver branco, não tem nem um número no minuendo, então escreva o conteúdo do subtraendo no lugar designado para o resto", tenha sido deletada e que nosso problema seja o de subtrair 27 - 4, ou seja:

$$\begin{array}{r}
 TC \quad 2 \quad 7 \\
 BC \quad \text{branco} \quad 4 \\
 \hline
 AC \quad ? \quad ?
 \end{array}$$

Na hora de fazer a subtração 2 - branco, o indivíduo passa a utilizar uma 'regra irmã de R3', digamos R6:  $\{\} \rightarrow (Diff TC BC AC)$ ; ou seja, "Se você estiver diante de um branco, subtraia o dígito contido em BC do dígito contido em TC e coloque o resultado em AC".

Observemos, no entanto, que Diff tem uma pré condição de que nenhum dos argumentos possa ser branco. Temos caracterizado um 'impasse'. Este impasse pode ser reparado de uma infinidade de maneiras, algumas corretas e outras incorretas. Por exemplo um 'bug' do tipo "Abandone o problema quando a coluna relativa ao subtraendo estiver em branco" geraria uma resposta errada ( $27 - 4 = 3$ ).

Nem todas as deleções levam, necessariamente, a impasses.

#### ☛ Conjunto de heurísticas de reparo

O seguinte conjunto de heurísticas de reparo é geralmente sugerido, para explicar o comportamento das pessoas nos experimentos realizados: *Quatro Métodos Fracos ou Heurística Geral*

##### ☉ *Escape e Fuja*

- a) Pule (Skip)
- b) Abandone (Quit)
- c) Retorne a última escolha (Backup)

##### ☉ *Realoque ou desloque o foco da operação*

- a) Varra verticalmente (Swap)
- b) Refocalize para a direita
- c) Refocalize para a esquerda

##### ☉ *Use uma operação que funcione numa situação (focalização) análoga*

- a) Use incremento para decremento
- b) Use um procedimento de topo de linha (Add10, Write9) para substituir uma outra operação de topo de linha
- c) Use uma operação de coluna para substituir outra operação de coluna

##### ☉ *Desmemorize*

A lógica por trás disso pode ser entendida pelo seguinte exemplo: Estamos diante de um problema. Porque não usar uma operação que funcionou numa situação parecida? (heurística III). Se quando vou somar dois números e a soma dá mais de 10 eu incremento o dígito a esquerda, porque não usar decremento em vez de incremento no caso da subtração (heurística IIIa)?

➤ Conjunto de críticas que permitam a filtragem dos reparos.

⊗ *Críticas relativas a forma de escrever (restrições)*

- a) Não deixe um branco no meio de uma resposta.
- b) Não tenha mais do que um dígito por coluna na resposta.
- c) Não decremente um dígito que é resultado de um decremento.

⊗ *Críticas relativas à informações teóricas*

- a) Não mude uma coluna depois que a resposta esteja escrita (ou de forma mais geral, cada operação deve afetar a resposta).
- b) Não peça emprestado mais do que uma vez à uma mesma coluna (evite loops infinitos)

Observemos que alguns 'bugs' podem ser gerados por impasses decorrentes de uma crítica o que, de fato, reproduz o que acontece conosco, humanos, ao constatar que nem sempre conseguimos resolver problemas relativos a situações não vivenciadas anteriormente.

### 5.1.3 Críticas à teoria dos reparos

A Teoria dos Reparos é a teoria relativa a ocorrência de 'bugs'. Dois sub-temas se mostram relevantes: A frequência com que determinado 'bug' ocorre e a estabilidade desses 'bugs'. As maiores restrições que são apresentadas com relação à Teoria dos Reparos, são:

- ⊗ *Reparos são independentes de impasses.* Qualquer heurística de reparo pode se aplicar a qualquer impasse. A menos que se tenha uma crítica ou filtros de pré condições, o reparo levará a um 'bug'.
- ⊗ *Críticas e Pré-condições podem servir tanto como filtros de reparo como causadores de impasses.* Se uma hipótese crítica é formulada para um propósito, deve ser usada para todos os outros.
- ⊗ *O solucionador de problemas não pode olhar a frente (advinhar).* Um reparo é filtrado somente se a ação que o gerou viola, imediatamente, uma crítica ou pré condição.
- ⊗ *O solucionador de problemas pode gerar apenas ações primitivas ou sub-objetivos.*
- ⊗ *As regras que representam o procedimento correto não podem possuir 'código morto'.* Cada regra deve ser usada durante a solução correta de pelo menos um problema (uma subtração pelo menos, no nosso exemplo).
- ⊗ *Qualquer regra pode ser deletada, a menos que a deleção seja bloqueada por algum princípio.*

- Princípios que bloqueiam deleções devem ser motivados pela seqüência do aprendizado do talento.
- As heurísticas de reparo devem ser especializações de métodos fracos, independentes de um domínio específico. Por exemplo, não podem mencionar as primitivas da subtração explicitamente.

#### 5.1.4 O que deveria ter uma teoria de aprendizagem?

Boas Teorias de Aprendizagem deveriam ser:

- ☛ Empíricas ou seja baseadas na experimentação;
- ☛ Ajustáveis; ou seja; possuir graus de liberdade que as façam ajustáveis a novos dados;
- ☛ Independentes de um domínio específico; se funcionam para a subtração devem funcionar para a adição, multiplicação, etc. e
- ☛ Capazes de elucidar os fenômenos observados.
- ☛ Capazes de explicar como adquirimos um 'bug'.

## 5.2 Aprendizagem da Máquina

No que tange a aprendizagem pela máquina, dois diferentes modelos vêm sendo propostos, a saber:

### Aprendizagem Baseada na Similaridade

Considerando-se um determinado número de exemplos de um conceito, é induzida uma regra que permita distinguir exemplares desse conceito de não exemplares.

### Aprendizagem Baseada na Explicação

A partir de um único exemplar se induz uma regra que permita a generalização. Este modelo está relacionado com o problema de representação de conhecimento e compreensão de linguagem; temas centrais em Ciências Cognitivas.

Outras abordagens se utilizam do modelo conexionista de Rumelhart et al e estendem a regra delta desenvolvida para a aprendizagem em sistemas a base de perceptrons. Essa regra delta, inicialmente aplicada a Sistemas de Perceptrons de duas camadas, foi estendida para redes de múltiplas camadas, e assume que há um treinamento ou 'feedback' com respeito ao 'o que' a saída deveria ser para cada nó. Se a saída esperada para cada nó é maior do que a saída real, então a regra delta aumenta a saída do nó e decresce o peso daqueles fatores que atuam no sentido de diminuir a saída.

#### 5.2.1 Generalização baseada em Exemplos: Um Ponto de Vista Unificado

A habilidade de se generalizar a partir de exemplos (inferência) é uma capacidade essencial a qualquer sistema de aprendizagem.

Generalização envolve a observação de um conjunto de exemplos de treinamento de algum conceito geral e a identificação do que há de comum nesses exemplos. O processo de generalização pode ser entendido como um processo de busca através de um universo de definições possíveis até encontrar aquela que case com os fatos observados.

Devido ao fato desse universo ser vasto, o cerne do processo está em se utilizar todos os dados obtidos no treinamento, premissas e conhecimentos disponíveis como restrições que auxiliem nessa busca. Os métodos de generalização baseados em exemplos se suportam no conhecimento que se tem sobre a tarefa e quanto ao conceito em estudo.

A partir de um único exemplo, esses métodos são capazes de produzir uma generalização válida em conjunto com uma justificação dedutiva da generalização em termos do conhecimento do sistema, sendo essa a diferença básica desse método com o que se baseia na análise de semelhanças. Vamos a algumas definições que são normalmente empregadas:

### Conceito

Predicado sobre algum universo de instâncias que, portanto, caracteriza algum subconjunto dessas instâncias.

### Instância

Coleção de literais que descrevem realizações e valores associados.

### Definição de um conceito

Descrição das condições necessárias e suficientes para que se seja um exemplo desse conceito.

### Definição suficiente de um conceito

Descrição das condições suficientes para que se seja um exemplo de determinado conceito.

### Exemplo

Uma instância que satisfaz à definição de um conceito (exemplos positivos - satisfazem; negativos - não satisfazem)

### Generalização

É uma definição de um conceito que descreve um conjunto que contém o exemplo.

### Explicação

É uma prova de como uma instância associada a um exemplo satisfaz uma definição.

### Estrutura de explicação

É a árvore que contém a prova. Cada regra particular que prova o exemplo é substituída por regras mais gerais correspondentes.

Um método de generalização baseada em exemplos (EBG) geralmente é definido através dos seguintes passos:

### 1º. Explique

Construa uma explicação em termos da teoria referente ao assunto que prove como o exemplo satisfaz a Definição de um conceito objetivo (goal). Esta explicação deve ser construída de tal forma que cada ramo da árvore resultante (estrutura de explicação) termine em uma expressão que satisfaça o *critério de operacionalidade*.

### 2º. Generalize

Determine um conjunto de condições suficientes, tais que a estrutura de explicação fique coerente, estabelecida em termos que satisfaçam o critério de operacionalidade. Isto é obtido regressando-se ao longo da árvore até o conceito objetivo (goal). A expressão resultante se constitui na Definição do conceito

Vamos a um exemplo onde utilizamos o problema de generalização do conceito de copo (Winston et al, 1983) Dados: Goal (Conceito Objetivo): Classe de objetos 'x' tais que: 'x' ser um copo é o mesmo que dizer que 'x' é levantável e estável e que 'x' é um vaso aberto, o que escrito em notação lógica corresponde a:

**Dado** Copo(x) = Levantável(x) ∧ Estável(x) ∧ Vaso\_aberto(x)

*Exemplo usado para treinamento*

Proprietário (Obj1, Neri)  
 Parte\_de (Obj1, Conc\_u)  
 É1 (Obj1, Leve)

*Teoria sobre o assunto:*

É1(x,Leve) ∧ Parte\_de(x,y) ∧ É2(y,Manuseável) → Levantável(x)  
 Parte\_de(x,y) ∧ É2(y,Fundo) ∧ É1(y,Plano) → Estável(x)  
 Parte\_de(x,y) ∧ É2(y,Conc\_u) ∧ É1(y,Apo\_cima) → Vaso\_aberto(x)

*Critério de Operacionalidade*

A Definição do conceito deve ser estruturada em termos das realizações que descrevem os exemplos (Leve, Plano, etc.)

**Determine:** *Generalização*

Uma generalização do exemplo usado para treinamento que seja uma Definição suficiente do conceito e que satisfaça o critério de operacionalidade.

## Estrutura de Explicação:

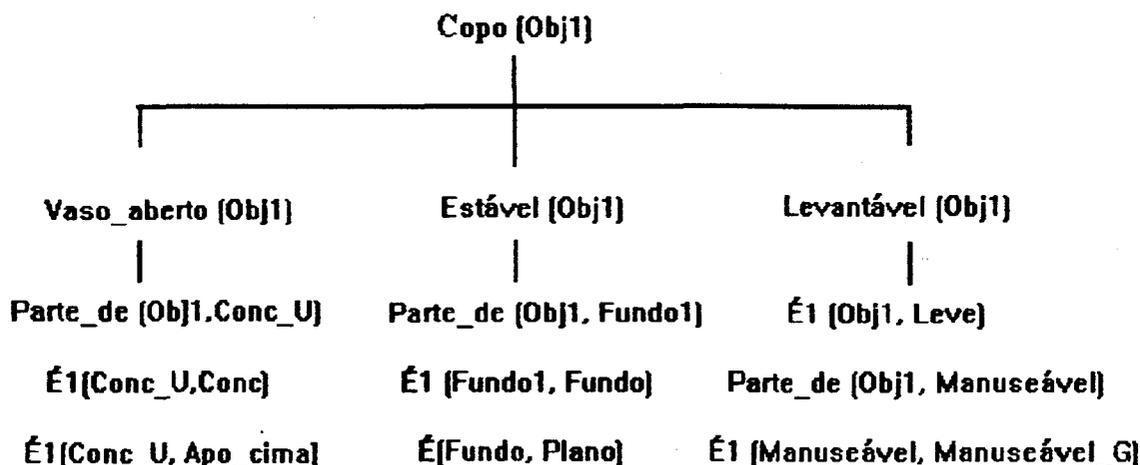


Figura 5.2 Estrutura de explicação de um copo

## 5.2.2 Aprendendo representações internas por propagação de erro

Essa rotina de aprendizagem estabelece um feedback de forma a, através do erro cometido, atuar sobre os diversos pesos (elementos de ponderação) de um sistema de forma que, através de um processo de minimização desse erro se 'ensine' a máquina a como, a partir de uma determinada entrada, obter a saída desejada.

Dado um conjunto de pares para os padrões de entrada e saída o sistema utiliza, primeiramente, um vetor de entrada que, processado pelo sistema, gera um vetor de saída que é comparado com o vetor alvo (ou vetor objetivo). Se não é encontrada nenhuma diferença, não existe aprendizagem. Se ocorrerem diferenças as ponderações são alteradas de forma a se diminuir essas diferenças. A regra DELTA, que é muito usada para comparar similaridades, atua no sentido de mudar os pesos após a apresentação dos pares  $p$  de entrada/saída. Ela é dada por:

$$\Delta_p w_{ji} = \varepsilon (t_{pj} - o_{pj}) i_{pi} = n \delta_{pj} i_{pi}$$

onde:

$t_{pj}$  é a entrada alvo  $p$ / o  $j$ ésimo componente do padrão de saída  $p$ ;

$o_{pj}$  é o  $j$ ésimo elemento do padrão de saída real produzido pela apresentação do padrão de entrada  $p$ .

$i_{pi}$  é o valor do  $i$ ésimo elemento do padrão de entrada

$\delta_{pj} = t_{pj} - o_{pj}$  e  $\Delta_p w_{ji}$  é a mudança a ser feita na ponderação da  $i$ ésima para a  $j$ ésima unidade após a apresentação do padrão  $p$

# CAPÍTULO SEXTO

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - PARTE V

### LÓGICAS HUMANAS

#### 6.1 Introdução

Dentro da revisão bibliográfica, buscamos situar o 'estado da arte' nas pesquisas que procuram simular agentes cognitivos. No capítulo segundo, como não poderia deixar de ser, levantamos o problema epistemológico, ou seja, o 'conhecimento que temos do que seja esse conhecimento' buscando, além disso, descobrir o que faz de nós, seres humanos, máquinas especiais. Discutimos, a partir dessas definições os diversos paradigmas associados à inteligência artificial, concluindo pela definição e discussão de autopoiese. No capítulo terceiro, dentro do mesmo espírito, buscamos rever as principais teorias do desenvolvimento. Máquinas construtivistas partem de um conjunto mínimo de dados e, a partir daí, constroem seus bancos de conhecimentos e suas regras de produção. No capítulo quarto revimos as teorias quanto às formas de aquisição e representação desse conhecimento e, no capítulo quinto as diversas teorias de aprendizagem. Vamos, agora, investigar como opera a mente diante do enigma do mundo.

#### 6.2 A linguagem do pensamento

Até o início desse século a lógica era considerada como a linguagem do pensamento. A própria definição do propósito da lógica booleana era a de *investigar as operações fundamentais da mente ao raciocinar*. Através de um *raciocínio dedutivo* partimos de premissas que julgamos verdadeiras, sobre as quais aplicamos regras fornecidas por alguma lógica, para concluir ou negar determinada proposição. No *raciocínio indutivo* buscamos alguma generalização ou abstração capaz de descrever um conjunto de dados. Pelo *raciocínio analógico* estabelecemos relações de correspondência entre elementos de dois sistemas distintos. Os problemas que enfrentamos em nosso dia a dia são resolvidos pela combinação desses diferentes tipos de raciocínio.

A forma mais simples de lógica é a Lógica Proposicional. Nela as expressões são chamadas de proposições e podem tomar dois valores possíveis: **falso** ou **verdadeiro**. Por exemplo, as expressões "Scooby é um beagle" e "Karen é uma beagle" são proposições atômicas às quais podem se atribuir um valor de verdade. O cálculo proposicional, no entanto, é limitado. A introdução de termos ou variáveis individuais, funções e predicados que denotem relações entre objetos conduz a um formalismo mais poderoso, a Lógica de Predicados.

O cálculo de predicados de primeira ordem não facilita a representação de relações entre os predicados, relações temporais, hipóteses, crenças, possibilidades e incertezas. Em função disso diversas lógicas foram propostas: As *lógicas modais* lidam com necessidades e possibilidades, estendendo a lógica formal pela inclusão de operadores como '*é necessário que*'; '*é preciso que*'; etc.

As *lógicas temporais* empregam conceitos do tipo '*é verdade*'; '*foi verdade*'; '*será verdade*'; '*sempre foi verdade*', e relações como '*durante*', '*antes*', etc. Lógicas de maior ordem podem representar propriedades de predicados ou mesmo propriedades de propriedades de resultados.

Na lógica clássica, a medida que inferências são realizadas, cresce o banco de conhecimentos com a armazenagem das novas proposições verdadeiras produzidas. Isso não corresponde ao que ocorre dentro do cérebro humano o qual, diante de novos dados, é capaz de rever esses conhecimentos e mudar os atributos de verdadeiro ou falso a eles associados. *Lógicas não monotônicas* exibem essa capacidade.

Existem várias maneiras de se medir a crença que se tenha em relação a uma proposição. Certos requisitos, no entanto, devem ser seguidos para que tal avaliação seja possível. As proposições, antes de tudo, devem ser claras e completas. O grau de confiança que se tenha nas mesmas deve poder variar de forma contínua.

O valor irá, evidentemente, depender de um contexto, ou seja, do conjunto global de conhecimentos o qual, por sua vez, é constituído por proposições e medidas de crença a elas associadas. Se duas proposições são logicamente equivalentes a medida associada à crença que se tenha em uma delas deverá ser igual a que se tenha na outra. A crença em proposições não atômicas deve poder ser obtida a partir das crenças associadas às proposições atômicas que a constituem. Da mesma forma, a crença na negação de uma proposição depende da crença que se tenha na sua afirmação.

Esses requisitos são equivalentes aos axiomas da teoria clássica das probabilidades sendo o mecanismo clássico usado para se avaliar essas crenças o raciocínio bayesiano onde se substitui a implicação da lógica clássica "*Se A então B*" por "*Se A então B com uma probabilidade p*". Frequentemente é impossível ou impraticável se obter, a priori, o valor associado a probabilidade de certos eventos o que força o uso de heurísticas e/ou aproximações. Assumir a independência dos eventos ou aplicar o princípio da insuficiência de razão<sup>1</sup> são técnicas empregadas para se definir esses valores a priori..

$$P(H|E) = \frac{P(E|H)P(H)}{P(E)}$$

A característica fundamental da teoria dos conjuntos difusos é que objetos podem pertencer parcialmente a conjuntos pré-definidos. Na lógica booleana ou algo pertence a classe dos objetos 'pesados' ou a dos objetos 'leves'. Na teoria dos conjuntos difusos esse mesmo objeto pode ser 0,8 leve e 0,2 pesado. De forma diferente do cálculo de probabilidades o que temos é um cálculo de incertezas.

---

<sup>1</sup>Na ausência de informação adicional a probabilidade atribuída a uma hipótese é uma função do número de hipóteses alternativas.

Quando projetamos processadores difusos utilizamos o 'bom senso', fazendo-se justiça à física quântica na medida em que, de fato, qualquer medida depende do observador. As regras que guiam o comportamento lógico dentro da modelagem difusa são, portanto, fáceis de serem formuladas. A parte difícil do problema consiste em se definir as funções características que quantificam o grau de pertinência de um determinado objeto a uma categoria. Essas funções são as vezes denominadas de *funções de crença*.

Já a busca de Piaget é pela Lógica das Totalidades, onde se supere o reducionismo incompatível com a autopoíese. Dentro do pensamento piagetiano o conhecimento é um conjunto de ações; reais ou potenciais, exteriores ou interiores; e a Lógica de Piaget não é uma Lógica Proposicional mas uma Lógica de Ações, uma Lógica Operatória.

Dizemos que a lógica de Piaget é uma meta-lógica na medida em que sua preocupação é com a lógica por detrás da gênese das diferentes lógicas dentro do cérebro humano. Por isso, a lógica de Piaget é necessariamente incompleta do ponto de vista formal, posto que é algo em eterna construção.

### 6.3 Lógica dos predicados ou lógica de primeira ordem

As proposições atômicas podem ser combinadas através de conectores lógicos para formar proposições compostas. Existem cinco conectores lógicos: "e,  $\wedge$ ", "ou,  $\vee$ ", "não,  $\sim$ ", "implica,  $\Rightarrow$ " e "equivalência,  $\Leftrightarrow$ " que permitem analisar uma estrutura complexa quebrando-a em suas proposições atômicas e, a partir daí, deduzir a verdade ou falsidade da mesma.

A lógica de proposições não é muito útil em inteligência artificial. Para podermos representar apropriadamente nosso conhecimento do mundo com algum formalismo, devemos poder calcular não somente proposições verdadeiras ou falsas, mas também expressar ou descrever objetos e generalizações sobre classes de objetos. A lógica de predicados satisfaz esses objetivos. Tomemos um exemplo:

"Todo amigo do Scooby é amigo da Karen".

$$\forall x, \text{Amigo}(x, \text{Scooby}) \Rightarrow \text{Amigo}(x, \text{Karen})$$

Muitos acreditam que a lógica formal é a linguagem da mente e que as heurísticas que utilizamos quando falham os esquemas usuais que acionamos para resolução de problemas não passam de mecanismos construtores que buscam acrescentar ou eliminar proposições ou valores atribuídos a proposições. A maior vantagem dessa forma de representação é a facilidade de manipular e deduzir novos fatos a partir de fatos já conhecidos. Vamos, com um exemplo, verificar como passar de uma descrição de um problema para representação em Lógica. Essa representação se constitui num banco de conhecimentos e num motor de inferências.

Consideremos um sistema de software consistindo de programas e arquivos que podem ser representados por um dicionário simples. Cada programa possui como atributo apenas a linguagem de programação em que foi escrito e cada arquivo apenas o tipo de organização física do mesmo. O dicionário mantém ainda os arquivos usados e os programas chamados por cada programa.

O alfabeto do nosso dicionário, por hipótese, se utiliza de símbolos com o seguinte significado:

- ☛ Consoantes: representam possíveis nomes de programas, arquivos, linguagens de programação e métodos de organização de arquivos.
- ☛ *Programa* ( $n, l$ ):  $n$  é o nome do programa escrito na linguagem  $l$ .
- ☛ *Arquivo* ( $n, g$ ):  $n$  é o nome do arquivo cuja organização é  $g$ .
- ☛ *Chama* ( $p, q$ ): o programa  $p$  chama o programa  $q$ .
- ☛ *Usa* ( $p, f$ ): o programa  $p$  usa o arquivo  $f$ .
- ☛ *Depende* ( $p, r$ ): o programa  $p$  usa ou chama direta ou indiretamente  $r$ .

A lista de todos os programas com as respectivas linguagens e de todos os arquivos com suas diferentes organizações, bem como as relações entre esses diversos componentes formam a nossa base de conhecimentos.

O alfabeto descreve a organização lógica do dicionário, mas deixa em aberto que restrições os dados deverão satisfazer para refletir uma configuração possível da aplicação. Exemplos de restrições são: dois programas não podem ter o mesmo nome, ou, se  $n$  chama  $m$ , ambos devem ser programas cadastrados. Um estado do dicionário que satisfaz a todas as restrições é chamado de consistente.

Agora, para completar a descrição do dicionário, vamos descrever as restrições desejadas, primeiro dando o enunciado informal e em seguida a rerepresentação do conhecimento desse enunciado, usando a lógica de primeira ordem.

*Restrição 1:* "As únicas linguagens de programação admitidas no momento são Fortran, Pascal, C++, Prolog e Lisp"

$$R1 \quad \forall x, l (\text{Programa}(x, l) \Rightarrow (x = \text{Fortran} \\ \vee x = \text{Pascal} \\ \vee x = \text{C++} \\ \vee x = \text{Prolog} \\ \vee x = \text{Lisp}))$$

*Restrição 2:* "Todo programa é escrito em uma única linguagem"

$$R2 \quad \forall x, l, z (\text{Programa}(x, l) \wedge \text{Programa}(x, z) \Rightarrow l = z)$$

*Restrição 3:* "As únicas organizações de arquivos admitidas: Sequencial, Direta e Indexada".

$$R3 \quad \forall x, g \text{ (Arquivo}(x,g) \Rightarrow (g = \text{Seqüencial} \\ \vee g = \text{Direta} \\ \vee g = \text{Indexada}))$$

*Restrição 4:* "Todo arquivo possui uma única organização física".

$$R4 \quad \forall x, g, z \text{ (Arquivo}(x,g) \wedge \text{Arquivo}(x,z) \Rightarrow g = z)$$

*Restrição 5:* "Se x chama y então x e y são programas cadastrados no dicionário".

$$R5 \quad \forall x, y \text{ (Chama}(x,y) \Rightarrow (\exists z \text{ (Programa}(x,z)) \wedge \exists w \text{ (Programa}(y,w))))$$

*Restrição 6:* "Se x usa g então x é um programa e g é um arquivo cadastrado no dicionário".

$$R6 \quad \forall x, g \text{ (Usa}(x,g) \Rightarrow (\exists z \text{ (Programa}(x,z) \wedge \exists w \text{ (Arquivo}(g,w))))$$

*Restrição 7:* "Se x chama y então x depende de y".

$$R7 \quad \forall x, y \text{ (Chama}(x,y) \Rightarrow \text{Depende}(x,y))$$

*Restrição 8:* "Se x usa g então x depende de g".

$$R8 \quad \forall x, g \text{ (Usa}(x,g) \Rightarrow \text{Depende}(x,g))$$

*Restrição 9:* "Se x depende de z e z depende de g então x depende de g".

$$R9 \quad \forall x,z,g \text{ (Depende}(x,z) \wedge \text{Depende}(z,g) \Rightarrow \text{Depende}(x,g))$$

### 6.3.1 A lógica formal empregada pelos seres humanos

Raciocinar envolve, tipicamente, considerar evidências relativas a uma hipótese ou conclusão. Simplificando, pode-se dizer que o ato de raciocinar consiste em gerar ou calcular um argumento. A Lógica Formal distingue dois tipos de argumentos:

#### ☛ Argumentos Dedutivos

É necessário, dado que as premissas sejam verdadeiras, que a conclusão seja verdadeira.

#### ☛ Argumentos Indutivos

Dado que as premissas sejam verdadeiras, é provável que a conclusão também o seja.

As pessoas tentam resolver problemas dedutivos aplicando regras como as da Lógica Proposicional. Outra abordagem, é a que considera que as pessoas resolvem seus problemas dedutivos construindo um modelo mental da situação descrita pelas premissas, checando então para verificar se as conclusões seguem aquele modelo. O que se denomina por modelo mental, consiste numa representação concreta das premissas. Na indução, em vez de usar estatística, as pessoas confiam em algumas heurísticas gerais e as aplicam de forma que as conclusões lembram essas evidências.

Vamos supor as seguintes premissas: "*Todos os elefantes são gordos*" e "*Todos os gordos são chatos*". Sem recorrer aos círculos de Euler ou aos diagramas de Venn, podemos imaginar um grupo de atores que representassem a cena, sob a forma de um 'tableau'; alguns deles representando elefantes, outros gordos e outros chatos.

Para representar a primeira premissa todo ator que estivesse representando um elefante é instruído a representar também um gordo e, desde que a primeira premissa é consistente com o fato de que possam existir gordos que não sejam elefantes, esse papel; o de gordos que não são elefantes, é atribuído a outros atores aos quais se diz que é incerto se eles existem ou não. Resumindo, o nosso tableau ficaria assim:

elefante = gordo  
 elefante = gordo  
 elefante = gordo  
 elefante = gordo  
 (gordo)  
 (gordo)

Nesse exemplo temos quatro atores que representam o papel de elefantes e gordos e dois atores que representam o papel de gordos que não são elefantes. O parêntese é uma notação que introduzimos para representar o fato de que esses atores podem ou não existir. Vamos representar agora a segunda premissa: *Todos os gordos são chatos*. Agora os atores que representam gordos são instruídos a representar o papel de chatos e um número arbitrário de novos atores são introduzidos para representar o papel de chatos que não são gordos, um tipo que, como da vez anterior, pode ou não existir:

elefante = gordo = chato  
 (gordo)=(chato)  
 (gordo)=(chato)  
 (chato)  
 (chato)  
 (chato)

Todos os elefantes são chatos? Por mera inspeção no tableau pode-se concluir que tal afirmativa é verdadeira. Tudo que tivemos que fazer foi externalizar e combinar a informação contida nas duas premissas. A inferência dedutiva requer mais do que apenas construir uma representação integrada das premissas; pede-nos que encontremos contra-exemplos.

Vejamos o seguinte: "*Nenhum dos autores é ladrão*"; "*Alguns dos cozinheiros são ladrões*". Para representar a primeira premissa tomamos dois grupos distintos de atores, os quais atuam como autores e ladrões e que são instruídos a jamais representar um papel diferente do seu.

autor  
autor  
autor  
autor

.....

ladrão  
ladrão  
ladrão

Nesse exemplo temos quatro atores que representam o papel de autores que não são ladrões e três atores que representam o papel de ladrões que não são autores. Vamos representar agora a segunda premissa: *Alguns dos cozinheiros são ladrões*.

autor  
autor  
autor  
autor

.....

ladrão = cozinheiro  
ladrão = cozinheiro  
(ladrão) (cozinheiro)

É tentador, neste ponto, concluir que "*Nenhum dos autores é um cozinheiro*" ou, de outra forma, que "*Nenhum dos cozinheiros é um autor*". Experimentos conduzidos por Johnson-Laird e Steedman em 1978 mostraram que seis pessoas em vinte cometem esse erro. A verdade é que, olhando para o 'tableau' acima, poderíamos chegar a estas conclusões. O problema é que a 'cena poderia ser representada de outra maneira'.

autor  
autor  
autor  
autor = cozinheiro

.....

ladrão = cozinheiro  
 ladrão = cozinheiro  
 (ladrão)

Esta maneira de representar as duas premissas também é inteiramente consistente. Outras cenas poderiam levar a diferentes conclusões. A única inferência válida, nesse caso, seria a de que "*Algum cozinheiro não é autor*".

#### ☞ Um procedimento efetivo para a inferência silogística

Baseado na argumentação precedente poderíamos construir um procedimento geral de como produzir inferências. Este procedimento pode ser subdividido em três estágios, a saber:

- ☞ Construa um modelo mental para a primeira premissa.
- ☞ Some a informação contida na segunda premissa ao modelo mental correspondente à primeira premissa, levando em conta as diferentes maneiras com que isso pode ser feito.
- ☞ Formule uma conclusão para expressar a relação, se existir, entre os 'últimos' termos apresentados nos modelos relativos às premissas.

Além das habilidades puramente interpretativas requeridas para a construção de modelos mentais, os lógicos apreciam o princípio fundamental da semântica que estipula: *Uma inferência é válida se e somente se não existe uma maneira de interpretar as premissas que seja consistente com uma negativa da conclusão.*

Para alguns silogismos, existe apenas um modelo integrado possível. Como o procedimento estabelece que para cada uma das quatro formas de silogismos só existe um modelo mental, temos um número limitado de combinações possíveis.

Um dos fatores que mais afetam a inferência silogística é a '*figura das premissas*'. Essa expressão; 'figura', corresponde a forma como as premissas "A", "B", "C" .. são apresentadas.

$$\begin{array}{l} A \Rightarrow B, \quad B \Rightarrow C \quad B \Rightarrow A, \quad C \Rightarrow B; \quad A \Rightarrow B \quad B \Rightarrow A; \quad \text{etc.} \\ C \Rightarrow B \qquad \qquad \qquad B \Rightarrow A \end{array}$$

Esse efeito consiste numa polarização em direção a certas formas de conclusão e um crescimento na dificuldade e no tempo necessário para se chegar a uma conclusão correta. Estes fenômenos são importantes porque não podem ser explicados em termos de 'ambiente', 'conversão ilícita', ou em teorias baseadas nos círculos de Euler ou diagramas de Venn. Só a análise cognitiva, a abordagem que leva em conta os processos que ocorrem na formação do modelo mental integralizado das premissas, conseguem explicá-los satisfatoriamente.

Quando as premissas formam a figura  $A \Rightarrow B, B \Rightarrow C$ ; as duas instâncias do termo do meio  $B$  ocorrendo uma a seguir da outra, observa-se que a tarefa de construir um modelo mental é simplificada. Por exemplo:

*Alguns dos A são B:*

*Todos os B são C:*

a = b  
a = b  
(a) (b)

e, rapidamente, somos capazes de somar a segunda premissa integrando o modelo.

a = c  
a = c  
(a) (c)

#### ☛ Silogismos que não permitem conclusões

Dentre os sessenta e quatro pares de premissas que se podem formar com os quantificadores *Alguns*, *Todos*, *Nenhum*, existem trinta e sete para os quais não se é capaz de derivar conclusões válidas.

Alguns A são B	Todos os A são B
Alguns B são C	Alguns dos B não são C
Nenhum dos A são B	
Nenhum dos B são C	

#### ☛ Inferência e memória de trabalho

A Teoria dos Modelos Mentais implica que as duas maiores dificuldades em se proceder às inferências são:

- ⊗ o número de modelos a serem construídos
- ⊗ os arranjos dos termos (figura) dentro das premissas

#### ☛ Diferenças entre os indivíduos na capacidade de raciocinar

A Teoria dos modelos mentais assume que as inferências dependem de três habilidades:

- ⊗ A habilidade de formar um modelo mental das premissas.

- ⊙ Capacidade de entender que uma inferência é correta se não há contra exemplos e usar essa capacidade.
- ⊙ Habilidade de colocar em palavras as características comuns de um conjunto de modelos mentais.

#### ➤ Habilidade das crianças em raciocinar silogisticamente

A influência de Piaget no estudo do desenvolvimento intelectual é tão grande que a maioria dos psicólogos, subscrevam ou não suas teorias, acreditam que as crianças começam a raciocinar formalmente entre os 11 e 12 anos. Existem experimentos mostrando que tal habilidade ocorre bem antes.

#### 6.3.2 Raciocínio Extensional versus Raciocínio Intuitivo

A lei mais simples e mais conhecida da Teoria das Probabilidades é, talvez, a que afirma que a soma das probabilidades é sempre maior que a soma da probabilidade conjunta:  $P(A) + P(B) > P(A \wedge B)$

O termo heurística de julgamento se refere a estratégia, não sabemos se deliberada ou não, que se suporta sobre uma premissa natural e daí faz conclusões, sejam estimativas ou previsões. A semelhança de uma criança com vários estereótipos profissionais é usada, por exemplo, para prever a 'vocação' de um indivíduo. Os testes experimentais relativos a regra da conjunção podem ser divididos em três tipos, a saber:

- ⊙ testes indiretos onde um grupo de indivíduos calcula a probabilidade da conjunção e um outro grupo de indivíduos calcula a probabilidade de seus constituintes. Nenhum indivíduo é requisitado a comparar uma conjunção (*Linda é caixa de banco e feminista*) com seus constituintes. Esses testes testam se a probabilidade de julgamento está de acordo com a regra de conjunção.
- ⊙ testes transparentes, diretos, em que os indivíduos calculam ou comparam as probabilidades da conjunção e seus constituintes num formato que esclarece a relação entre eles. Esses testes testam se as pessoas obedecerão a regra de conjunção quando compelidas a comparar eventos críticos.
- ⊙ testes sutis, diretos, em que os indivíduos comparam a conjunção até seus constituintes menos representativos, mas a relação de inclusão entre eventos não é enfatizada. Esses testes testam se as pessoas se aproveitarão de uma oportunidade para comparar eventos críticos.

Um julgamento é denominado uma falácia quando a maioria das pessoas que o fazem se dispõe, após uma explicação apropriada, a aceitarem as seguintes proposições:

- ⊙ Cometeram um erro não trivial, o qual teriam repetido em problemas similares.
- ⊙ O erro era conceitual, não verbal ou técnico.

◊ Deveriam saber a resposta correta ou, pelo menos, um procedimento para encontrá-la.

Um julgamento é denominado uma falha de comunicação se o indivíduo não entendeu a questão ou se o experimentador interpretou erroneamente a resposta. Num problema típico, temos: Um modelo causal  $M$  (A personalidade de Linda); um alvo básico  $B$  (é a caixa de um banco) e um evento adicional  $A$  (ela é feminista).

Num paradigma  $M \Rightarrow A$ , o modelo  $M$  está associado positivamente à  $A$  e negativamente à  $B$ . Através de inúmeros experimentos mostra-se como as pessoas erram ao lidar com conjunções. De certa forma, o que podemos deduzir desses estudos é que as pessoas, embora sejam capazes de entender e aplicar a regra extensional, demonstram mais afinidade com um raciocínio não extensional. Os erros de conjunção demonstram o contraste entre a lógica extensional que enfatiza concepções mais formais de probabilidades e as premissas naturais que governam nossos julgamentos e crenças.

O julgamento de probabilidades varia no grau em que se aborda o problema, seja por decomposições, seja de forma holística e no grau em que as premissas e a agregação de probabilidades sejam intuitivas ou analíticas.

Estudos sobre o raciocínio e solução de problemas mostram que as pessoas freqüentemente falham na compreensão ou aplicação de um princípio lógico abstrato, mesmo quando elas o usam em contextos familiares concretos.

#### 6.4 Lógica difusa

Seja  $X$  um conjunto de objetos formando um Universo do qual  $x$  é um elemento genérico. Seja  $A$  um subconjunto de  $X$ . Seja  $\nu_A(x)$  a função característica que define se  $x$  é um membro de  $A$ . Um conjunto difuso tem as seguintes características:

- ◊  $A$  é um subconjunto de  $X$  sem limites precisos (muito maior, muito menor, bom vinho, etc.)
- ◊  $\nu_A(x)$  pode assumir qualquer valor real no intervalo  $[0, 1]$

$$A = \{ (x, \nu_A(x)), x \in X \}$$

$$A = \nu_A(x_1)|x_1 + \dots + \nu_A(x_n)|x_n = \sum_{i=1}^n \nu_A(x_i)|x_i$$

$$A = \int_X \nu_A(x)|x$$

$\nu_A(x)$  é uma função que mapeia uma ou mais variáveis a um grau de pertinência dentro de um conjunto difuso. A função gaussiana é a mais popular na implementação das representações difusas de números simples:  $\nu_A(x) = e^{-k(x-a)^2}$ . A constante  $K$  controla a largura de um conjunto difuso

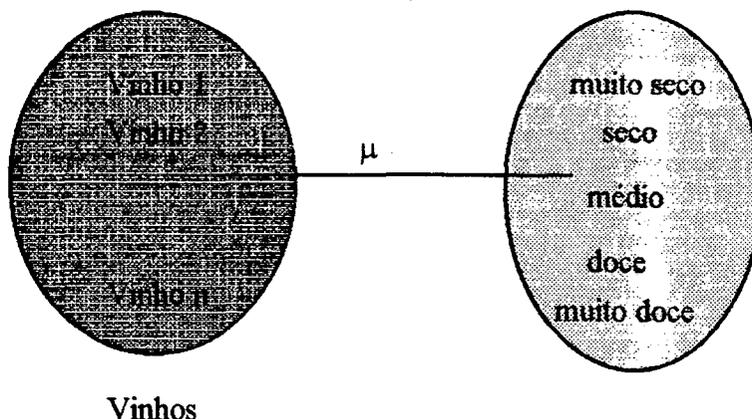


Figura 6.1 Como você prefere o seu vinho?

Define-se como *suporte* de um conjunto difuso o domínio sobre o qual a função característica é diferente de zero.

Se, por exemplo, tomarmos a gaussiana, temos como suporte todo o conjunto dos números reais. Na prática considera-se a distância equivalente a três desvios padrões tomando-se os valores além desse limite como desprezíveis. *Altura* de um conjunto difuso é o valor máximo que pode ser atingido pela função característica. Um conjunto difuso é dito *normalizado* se sua altura é igual a 1.

A implementação mais comum dos conjuntos difusos envolvem o mapeamento de uma variável contínua do domínio dos números reais em uma pequena coleção de conjuntos difusos. Um exemplo é o mapeamento dos pesos de um indivíduo em três conjuntos difusos: Leves, médios e pesados.

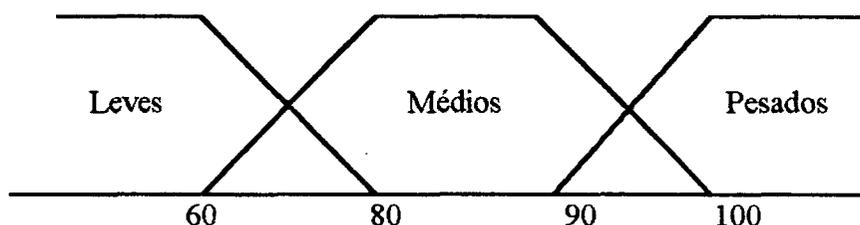


Figura 6.2 Mapeamento típico de um número real em 3 conjuntos difusos

Não há qualquer razão que me obrigue a restringir o domínio da função característica que define o 'quanto' um elemento é membro de determinado conjunto difuso. Nós podemos, por exemplo, medir a altura e o peso de uma pessoa e usar essas duas medidas para definir um conjunto difuso de pessoas esguias.

$$v_A(x) = \begin{cases} -k\left(\frac{p}{h} - c\right) & \text{se } \frac{p}{h} < c \\ 1 & \text{se } \frac{p}{h} \geq c \end{cases}$$

Não existe, ainda, necessidade de que a função característica seja contínua. Considere, por exemplo, críticas que são feitas a um chefe de setor sob a forma de estrelas, a exemplo do que acontece com filmes. Se definirmos um conjunto difuso "Querido pelos subordinados" podemos computar a função característica pelo número de estrelas que um determinado subordinado atribuiu ao seu chefe.

Freqüentemente um grupo de conjuntos difusos é derivado de um modelo fundamental. Por exemplo, além do modelo fundamental 'Vinho doce', cuja função característica é baseada no conteúdo de açúcar, podemos querer definir outros dois conjuntos difusos relacionados: 'Vinho muito doce' e 'Vinho mais ou menos doce'. Quando se modifica a função característica com base em uma modificação linguística diz-se que se está aplicando um *cabeçalho*. Tradicionalmente associam-se a certos cabeçalhos modificações na função característica. O cabeçalho *muito* é obtido elevando-se ao quadrado o valor da função característica em cada ponto e o cabeçalho *mais ou menos*, tomando-se a raiz quadrado.

As operações lógicas básicas são o NOT, o AND e o OR. Diferentes extensões aos conceitos básicos relativos aos conjuntos difusos são possíveis. Podemos definir o que seja um conjunto difuso de diferentes formas e, para cada uma dessas formas encontraremos, ainda, diferentes tipos de operações aplicáveis que podem ser definidas. As regras originais propostas por Zadeh (apud Zimmermann, 1985) são:

$$\begin{aligned}\text{NOT } [\nu_A(x)] &= 1 - \nu_A(x) \\ \nu_{A \cap B}(x) &= \min [\nu_A(x), \nu_B(x)] \\ \nu_{A \cup B}(x) &= \max [\nu_A(x), \nu_B(x)]\end{aligned}$$

As operações lógicas de negação, conjunção e disjunção discutidas acima são o fundamento de muitos processamentos baseados em regras mas a estrutura do processador, ela mesma, baseia-se primariamente em inferências. A mais fundamental regra de inferência utilizada em lógica é *modus ponens* ( $A \wedge (A \Rightarrow B) \Rightarrow B$ ). É o raciocínio empregando *modus ponens* que permite o seguinte arrazoado:

- ☛ Regra: Se um animal é um cachorro, então ele tem quatro patas.
- ☛ Premissa: Scooby é um cachorro.
- ☛ Conclusão: Scooby tem quatro patas

Vamos supor que tenhamos dois conjuntos difusos. O primeiro, chamado de '*sobrecarga*' tem como variável de sua função característica os pesos das cargas suportadas por uma estrutura. O segundo, '*deformação*' tem como variável medidas de comprimento. A regra básica utilizada pelos processadores difusos reflete o senso comum de que "*Se X está sobrecarregado, então X está deformado*". Quando se aplica essa regra para uma instância qualquer de X, terminamos com X sendo o membro de um novo conjunto difuso cuja função característica é uma versão modificada da função característica associada ao conjunto '*deformação*'.

A questão consiste em como se modificar a função característica associada a conclusão para acomodar a premissa? Em outras palavras, o fato de eu saber que X está sobrecarregado diminui a incerteza que eu tenho em relação ao fato de X estar deformado. Diminui de quanto?

Existem dois métodos populares, o de inferência pela correlação mínima e o de inferência pelo produto da correlação. O primeiro diz que, enquanto o valor da função característica da conclusão for menor ou igual ao da premissa, não se muda o valor. Em qualquer ponto que esta exceda o valor da premissa, assume-se o valor da premissa.

$$v_{B,A}(x) = \min [v_A(x), v_B(x)]$$

O segundo método diz que, para se computar a função característica da inferência, multiplica-se a função característica da conclusão pela verdade da premissa, o que resulta numa função que está em escala com a função característica original da conclusão.

Um sistema prático de processamento difuso combina as operações apresentadas de uma forma útil capaz de resolver determinados problemas. Seja, por exemplo, uma reação química ocorrendo num tubo de ensaio fechado com duas válvulas de saída, uma normal e outra de emergência.

A medida que se processa a reação a pressão vai aumentando. Quanto mais alta a temperatura maior a pressão. Uma vez que a reação termine a pressão cessa de aumentar. A tarefa do nosso sistema difuso consiste em controlar a abertura da válvula de emergência. Para isso, segue as seguintes regras:

*Primeira regra:* Se a pressão é excessiva é a válvula normal já está aberta, temos problema. Abra a válvula de emergência.

*Segunda regra:* Se a temperatura é excessiva e a reação ainda não foi completada, o que significa que a pressão tende a aumentar rapidamente, abra a válvula de emergência como medida preventiva.

*Terceira regra:* Mantenha a válvula de emergência fechada.

Observe que a terceira regra, que traduz uma preocupação financeira com o prejuízo decorrente da perda de parte do produto pela abertura da válvula, contraria as duas primeiras. Em outras palavras, estas regras não tem nenhum sentido em lógica clássica. Nós humanos, no entanto, adoramos trabalhar com regras que conflitam entre si.

O primeiro passo na construção de nosso processador difuso é se definir os conjuntos difusos apropriados. Podemos ter '*pressão excessiva*', cuja variável é o valor medido pelo sensor; '*válvula normal aberta*' que é determinada pelo grau de abertura das válvulas normais de saída; '*temperatura excessiva*', também associado a um valor medido por um sensor de temperatura; '*reação completada*', cuja função característica vai depender da reação e que se pode dizer que vai depender da concentração dos produtos químicos componentes da mistura e, finalmente, o mais importante de todos '*válvula de emergência aberta*'.

As três regras podem ser formalmente estabelecidas em termos das funções características associadas ao se ser ou não ser membro desses conjuntos:

- ☛ Se '*pressão excessiva*' e '*válvula normal aberta*' então '*válvula de emergência aberta*'
- ☛ Se '*temperatura excessiva*' e '*not*' '*reação completa*' então '*válvula de emergência aberta*'
- ☛ '*not*' '*válvula de emergência aberta*'.

Algumas vezes precisamos '*desfuzificar*', ou seja, precisamos de números bem comportados. Alguns controles precisam receber valores claros para poder atuar. Antes de efetuar essa operação, no entanto, é preciso se ter certeza da validade dos dados.

Uma maneira rápida e pouco elegante de se verificar isso é a análise da *altura* do conjunto difuso. Este número que dá o máximo valor da função característica, também chamado de *índice de compatibilidade*, deve ser suficientemente grande. No exemplo anterior, fica claro que a função característica que vai resultar após a aplicação do processamento para a abertura da válvula de emergência vai ter um baixo índice de compatibilidade. Isso significa que o problema foi mal formulado ou que as regras são por demais incompatíveis.

Em alguns casos, alturas muito grandes (acima de 0.9) podem significar problemas nas regras. Geralmente, no entanto, esse indicadores de problemas não são tão significativos como os decorrentes de uma altura baixa.

Após '*validado*' o processamento, os dois métodos preferidos para '*defuzificação*' são: o *método da máxima altura*, que simplesmente escolhe o ponto cujo valor associado da função característica é máximo e o *método do centro de gravidade*, que é empregado quando as funções características são '*muito convexas*', o que ocorre na maioria dos casos:

$$\hat{x} = \frac{\int_D x \mu(x) dx}{\int_D \mu(x) dx}$$

#### 6.4.1 Extensões à Lógica difusa

##### ☛ Conjuntos Difusos do tipo 1

Chamaremos de Conjuntos Difusos do tipo 1 quando não há incerteza associada ao grau de '*pertença*' de um elemento a uma determinada classe. São os Conjuntos Difusos usuais, sem serem estendidos. Por exemplo, quando eu digo que '*Pingüim*' pertence a classe das aves com um grau 0,2 não estou expressando a minha incerteza em relação a esse 0,2. É como se eu tivesse trabalhando com uma incerteza de primeira ordem

### ☞ Conjuntos Difusos do tipo 2

Chamaremos de Conjuntos Difusos do tipo 2 quando há incerteza associada ao grau de 'pertença' de um elemento a uma determinada classe. Por exemplo, quando eu digo que 'Pingüim' pertence a classe das aves com um grau 0,2 devo expressar a minha incerteza em relação a esse 0,2; 0,7 por exemplo. O 0,7 representa o meu grau de incerteza quanto a incerteza que eu tenho em relação ao fato de um Pingüim pertencer a classe das aves com valor 0,2.

Em outras palavras, Conjuntos Difusos do tipo 2 são Conjuntos Difusos cujos membros são Conjuntos Difusos do tipo 1. Convém ressaltar que, nesses casos, operações clássicas do tipo intersecção, união e complemento não são mais aplicáveis.

### ☞ Conjuntos Difusos do tipo m

Um Conjunto Difuso do tipo m é um Conjunto Difuso em X cujos valores relativos à pertinência são Conjuntos Difusos do tipo m-1,  $m > 1$ ; definidos no intervalo [0, 1].

Em outras palavras, aqui eu devo estabelecer a incerteza que eu tenho sobre a incerteza sobre a incerteza ... Como ninguém consegue operar sobre tanta incerteza, na prática esse 'm' nunca excede o número 3 (e olha que já é muita incerteza).

### ☞ Conjuntos Probabilísticos

Um conjunto probabilístico A sobre X é definido por uma função de definição

$$v_A: X \times \Omega^3(x, \omega) \Rightarrow v_A(x, \omega) \in \Omega$$

onde  $v_A(x, \cdot)$  é a função de medida  $(B, B_C)$  para cada  $x \in X$  fixado.

Para Hirota, um conjunto probabilístico A com uma função de definição  $v_A(x, \omega)$  está contido em um conjunto probabilístico B com  $v_B(x, \omega)$  se para cada  $x \in X$  existe um  $E \in B$  que satisfaz  $P(E) = 1$  e  $v_A(x, \omega) \leq v_B(x, \omega)$  para todo  $\omega \in E$ .  $(\Omega, B, P)$  é chamado de espaço de parâmetros.

Uma das vantagens principais da noção de Conjuntos Probabilísticos na modelagem das realizações difusas e estocásticas de um sistema é a possibilidade de se calcular valores como Valor Esperado, Variância e outros 'momentos' em geral.

Uma outra extensão clássica a teoria básica é o *princípio de extensão*, introduzido pelo próprio Zadeh (op. cit.). Esse princípio de extensão fornece um método geral para se estender conceitos matemáticos não difusos, de maneira que podemos associá-los à quantidades difusas.

### Produto Cartesiano

O Produto Cartesiano de Conjuntos Difusos é definido como se segue: Tomemos  $A_1, \dots, A_r$  como sendo  $r$  Conjuntos Difusos em  $X_1, \dots, X_r$ . O produto Cartesiano será então um Conjunto Difuso no espaço produto  $X_1 \times \dots \times X_r$  sendo definido por:

$$A_1 \times \dots \times A_r = \int_{x_1 \times \dots \times x_r} \min(\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_r}(x_r)) / (x_1, \dots, x_r)$$

Tomemos  $f$  como sendo uma função que mapeia de  $X_1 \times \dots \times X_r$  para um universo  $Y$  tal que  $y = f(x_1, \dots, x_r)$ . O princípio de extensão permite-nos induzir de  $r$  Conjuntos Difusos  $A_i$ , um Conjunto Difuso  $B$  sobre  $Y$  através de  $f$ , de tal forma que:

$$\mu_B(y) = \sup_{\substack{x_1, \dots, x_r \\ y = f(x_1, \dots, x_r)}} \min(\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_r}(x_r)) \quad (1)$$

$$\mu_B(y) = 0 \text{ se } f^{-1}(y) = \emptyset$$

onde  $f^{-1}(y)$  é a imagem inversa de  $y$ ,  $\mu_B(y)$  é o maior entre os valores da função de pertinência  $\mu_{A_1 \times \dots \times A_r}(x_1, \dots, x_r)$  das realizações de  $y$  usando  $r$ -tuplas  $(x_1, \dots, x_r)$ . O caso especial quando  $r = 1$  já foi resolvido por Zadeh (op. cit.). Quando  $f$  é bi-unívoca a equação (1) se torna:

$$\mu_B(y) = \mu_{A_i}(f^{-1}(y)) \text{ quando } f^{-1}(y) \neq \emptyset.$$

$$\mu_B(y) = 0 \text{ se } f^{-1}(y) = \emptyset$$

#### 6.4.1.1 Exemplo de Aplicação do Princípio de Extensão

Um corte  $\alpha$  difuso pode ser compreendido como o conjunto de elementos cujos valores que definem são maiores que 'aproximadamente  $\alpha$ ', isto é, pertencem a um intervalo difuso  $(\sim\alpha, 1]$ .

Seja  $A$  um conjunto difuso de  $X$  e  $A_\alpha$  um corte  $\alpha$

Seja  $u_{[\alpha, 1]}$  a função característica do intervalo  $[\alpha, 1]$  no Universo  $[0, 1]$ . Temos:

$$\mu_{A_\alpha}(x) = u_{[\alpha, 1]}(\mu_A(x)) \quad \forall x \in X$$

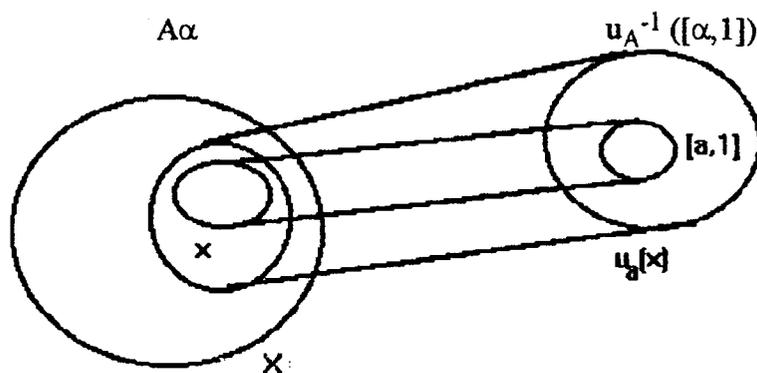


Figura 6.3 -Cortes  $\alpha$  Difusos

#### 6.4.2 Aplicação dos conjuntos difusos ao problema de categorização

O termo protótipo se refere tanto à descrição de uma categoria como, também, ao melhor exemplo da mesma. Dois princípios básicos e gerais comandam as categorizações, a saber:

- ⊙ **Economia cognitiva.** O objetivo ao se formar categorias é o de permitir o máximo de informação com o mínimo de esforço cognitivo.
- ⊙ **Estrutura percebida do universo.** O mundo é estruturado e não formado por atributos arbitrários ou não predizíveis.

Para fins didáticos consideram-se duas dimensões associadas ao conceito de categoria; uma vertical do geral para o particular ou vice versa e outra horizontal que contém os elementos de mesmo grau de generalidade. Por Categoria entende-se um número de objetos que são considerados equivalentes. Um Sistema de Taxonomia é um sistema pela qual as categorias estão relacionadas entre si. A menos que seja a de maior nível, toda a categoria num Sistema Taxonômico está incluída em outra de nível superior.

'Validação por informações' é um conceito probabilístico medido pela probabilidade condicional de se inferir a categoria  $y$  a partir de uma informação  $x$ . Quanto mais elementar uma categoria, maior o seu grau de validação. Semelhança dentro de uma categoria e validação são conceitos correlacionados. Categorias Superordenadas (móvel) têm um valor menor de 'validação' do que categorias de nível básico (cadeira). Categorias abaixo do nível básico (cadeira da cozinha) são conjuntos de atributos e funções comuns e predizíveis que pertencem a diversas categorias.

Objetos básicos; cadeira, árvore, etc., são as categorias mais abstratas cuja imagem mental poderia representar uma classe como um todo. Ao percebermos o mundo, categorizamos os objetos ou no nível mais abstrato ou no mais complexo possível. Só através de um processamento adicional somos capazes de identificá-los como membros de sua Categoria superordenada ou de sua Categoria subordinada (Percepção). A maioria, se não todas as categorias, apresentam limites não muito bem definidos.

Se as categorias são formadas para maximizar os conjuntos de informações sobre os atributos similares existentes no ambiente, os protótipos são formados de maneira a maximizar (ainda mais) tais conjuntos de coisas similares. A rapidez com que uma pessoa indica se determinado elemento pertence ou não pertence a uma categoria está associado ao grau de prototabilidade. O uso de 'bons protótipos'; difíceis de achar e mais difíceis ainda de se definir, aceleraria a aprendizagem de estudantes quanto a uma categoria.

Embora a lógica possa tratar categorias usando expressões do tipo "*tal elemento pertence ou não pertence*", a linguagem natural possui mecanismos que definem gradientes. Palavras como 'quase', 'virtualmente' são chamadas de 'cercas' (hedges), sugerindo um tratamento por Lógica Difusa. Protótipos apenas restringem a classificação, mas não servem como representação de um objeto ou como um modelo de processamento de informações.

A noção chave, na teoria, como vimos, é a de função característica:  $C_a : D \Rightarrow [0,1]$ , onde  $D$  é o domínio do discurso e  $C_a$  é uma função que mapeia entidades pertencentes a  $D$  em números reais do intervalo  $[0,1]$  de tal forma que determina o grau pelo qual uma entidade de  $D$  é membro de um conceito  $A$ .

A função característica  $C_p$  que mede o grau pelo qual um objeto pode ser julgado como pertencente à categoria 'peixe' diria que um 'guppy' (peixinho de rio) teria um valor 0,8 e um cachorro um valor bem pequeno, digamos 0,001. Poderíamos definir a função  $C_{pe}$ ; categoria dos peixes de estimação. Na verdade essa função poderia ser obtida de  $C_p$ ; peixes e  $C_e$ ; animais de estimação, da seguinte forma:

$$C_{pe}(x) = \min [C_p(x), C_e(x)]$$

Muitos pesquisadores entendem que essa fórmula está incorreta. Por exemplo, uma maçã cinza é muito mais típica para a categoria das maçãs cinzas do que o valor que se obteria se se computasse o mínimo para a categoria das maçãs e das coisas cinzas.

#### ☛ Taxonomia e testes experimentais

Todos os contra-exemplos do tipo 'maçã cinza', compartilham as seguintes características:

- ⊗ a propriedade denotada pelo adjetivo dá um diagnóstico negativo para o nome (ser cinza faz com que se deduza que não pode ser maçã)
- ⊗ um adjetivo pode: não contribuir para o diagnóstico (maçã fatiada); contribuir negativamente ou positivamente para o diagnóstico (maçã vermelha).
- ⊗ só onde os adjetivos não contribuem para o diagnóstico é que falha a teoria dos conjuntos difusos.

O único caso em que a teoria descreve corretamente as relações de tipicidade para uma conjunção e tipicidade para seus constituintes ocorre quando os objetos se mostram membros muito pobres de conceitos relevantes.

☛ Uma abordagem representacional para a combinação conceitual

Ao construirmos uma representação para julgamento de tipicidade para conceitos conjuntivos um ponto de partida útil é considerar os conceitos associados aos seus nomes.

- Tanto um conceito simples como um objeto podem ser representados por um conjunto de atributos e seus valores.
- A tipicidade de um objeto em relação a um conceito é função direta da similaridade do objeto com o conceito.

Pegemos, como exemplo, uma maçã. Para representá-la precisamos de um conjunto de atributos; cor, forma, textura e, para cada atributo, um conjunto de valores possíveis. Neste modelo, a similaridade entre os atributos mais típicos da categoria maçã ( $M$ ) e os de um objeto real ( $O$ ) é dado por:

$$Sim(M, O) = xf(M \wedge O) - yf(M - O) - zf(O - M)$$

onde  $M \wedge O$  representa o conjunto de atributos comuns a  $M$  e a  $O$ ,  $M - O$  o conjunto de atributos distintos do conceito maçã e  $O - M$  os distintos relativos ao Objeto;  $f$  é uma função associada a ênfase ou saliência que se dá a cada atributo e  $x, y, z$  são parâmetros que determinam a contribuição relativa sendo que a idéia geral é que a similaridade cresce com os atributos em comum e decresce com os que são distintos.

Pesos	MAÇÃ	MAÇÃS VERMELHAS ( $O_1$ )	MAÇÃS CINZAS ( $O_2$ )
3	vermelha (P)	vermelha (P)	vermelha
	cor	cor	cor
	cinza	cinza	cinza (P)
	--	--	--
	--	--	--
1	redonda (P)	redonda (P)	redonda(P)
	forma	forma	forma
	--	--	--
	--	--	--
2	lisa (P)	lisa (P)	lisa (P)
	textura	textura	textura
	--	--	--
	--	--	--

Figura 6.4 Protótipo de Maçã

Vamos assumir daqui para diante, o seguinte:

$$\odot x=y=z=1$$

○ Para determinar  $f(M \wedge O)$  nós simplesmente somamos os pesos de todos os atributos comuns a  $M$  e a  $O$ ; da mesma forma faremos para  $f(M-O)$  e  $f(O-M)$

$$Sim(O_1, M) = 6 - 0 - 0 = 6; \quad 3 \text{ pela cor; } 2 \text{ pela forma e } 1 \text{ pela textura}$$

$$Sim(O_2, M) = 3 - 3 - 3 = -3$$

Os adjetivos podem interagir com os nomes de duas maneiras diferentes, a saber:

○ As duas representações se interceptam

○ O adjetivo modifica o nome. Em essência se refere a algum atributo relevante associado ao nome; dita onde o  $P$  de protótipo deve ser posicionado e aumenta o peso associado a esse atributo.

Um conceito pode conter um procedimento de identificação que tenha uma estrutura prototípica, mas pode também ter um procedimento baseado em algum núcleo que não esteja associado a nenhum protótipo; conceito de Vazio, de Universalidade, etc. Existe muito mais por detrás da idéia de conceito do que a imagem que possa ser fornecida por qualquer Protótipo.

### 6.4.3 Aplicação da teoria dos conjuntos difusos à tomada de decisões

As noções relativas a restrições difusas, objetivos difusos e decisões difusas podem ser estendidas para serem aplicadas em processos de decisão envolvendo múltiplos estágios. Um problema de tomada de decisão consiste em, respeitadas as restrições dadas, encontrar um ótimo. Em programação dinâmica, como o objetivo é o mesmo devemos considerar, como fundamentais, as noções relativas a restrições e objetivos. Em programação dinâmica difusa, a incerteza vai ser considerada somente ao nível de restrições e de objetivos. O resto do modelo continua sendo determinístico: isto é; as variáveis, tantas as causas como os efeitos, e o processo em si não são considerados difusos.

#### 6.4.3.1 Programação Dinâmica Difusa

A teoria consiste, essencialmente, de se buscar a interseção entre os objetivos difusos e as restrições difusas dentro do conceito de programação dinâmica.

##### -Conceito de decisão difusa

Seja  $X$  um conjunto de alternativas. Tomemos um objetivo  $G$ , definido como um subconjunto de  $X$ . A decisão difusa  $D$  resultante dos objetivos e restrições difusas pode ser definido como:

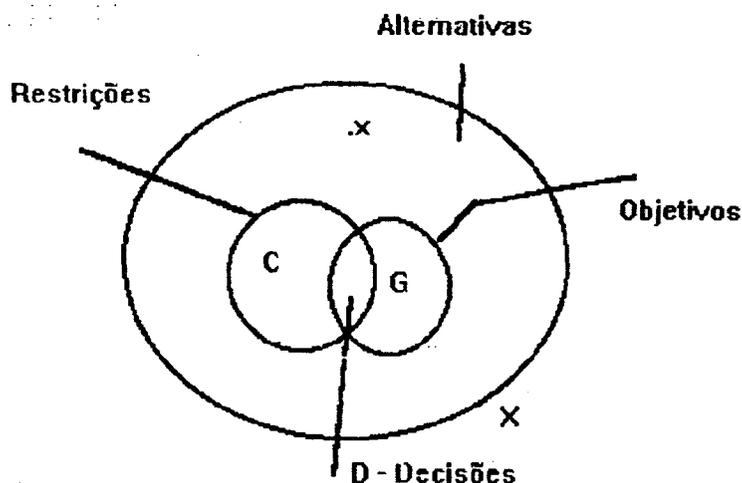


Figura 6.5 Tomando decisões difusas I

$$D = G \cap C \quad (1)$$

#### -Conceito de programação dinâmica difusa

Vamos assumir que o processo acerca do qual deveremos tomar decisões ocorra em um sistema determinístico de estados finitos e invariante no tempo.

Seja o espaço de estados  $X = \{x_1 \dots x_n\}$ ;

Seja o espaço de entradas  $U = \{u_1 \dots u_n\}$ ;

Vamos definir, agora a função de transição de estados  $f: X \times U \Rightarrow X$

A equação de estado é definida como  $x_{i+1} = f(x_i, u_i)$ ,  $i = 0, 1, 2 \dots$ . Observemos que se o sistema for estocástico essas transições se tornam em probabilidades condicionais. Assume-se que a cada instante  $t$  a entrada está sujeita a uma restrição  $C_t$  que é um conjunto difuso sobre  $U$ , caracterizado por uma função de pertinência  $\nu_{C_t}(u_i)$ .

Supomos um objetivo difuso  $G_N$  imposto sobre os estado final  $x_N$ , caracterizado por uma função de pertinência  $\nu_{G_N}(x_N)$ .

Aplicando-se a definição (1) temos que a decisão neste caso é um conjunto difuso  $D$  sobre  $U \times U \times \dots \times U$ :

$$D = C_0 \cap C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_{N-1} \cap G_N$$

onde  $G_N$  é um conjunto difuso sobre  $U \times U \times U \times \dots \times U$  que induz o conjunto difuso  $G_N$  sobre  $X$ .

Nós, agora, recordamos a definição do que venha a ser um conjunto difuso induzido: O conjunto difuso  $\underline{G}$  sobre  $X$  que induz um conjunto difuso  $G$  sobre  $Y$ , através de um mapeamento  $f: X \rightarrow Y$  é definido por:

$$\nu_{\underline{G}}(x) = \nu_G(f(x)) = \nu_G(y) \quad y = f(x)$$

Isto nos dá a função de pertinência de  $D$ :

$$\nu_{\underline{D}}(u_0, u_1, \dots, u_{N-1}) = \nu_{C_0}(u_0) \wedge \dots \wedge \nu_{C_{N-1}}(u_{N-1}) \wedge \nu_{\underline{G}_N}(x_N)$$

onde  $x_N$  é uma função de  $u_0 \dots u_{N-1}$  de acordo com a função de transição de estado.

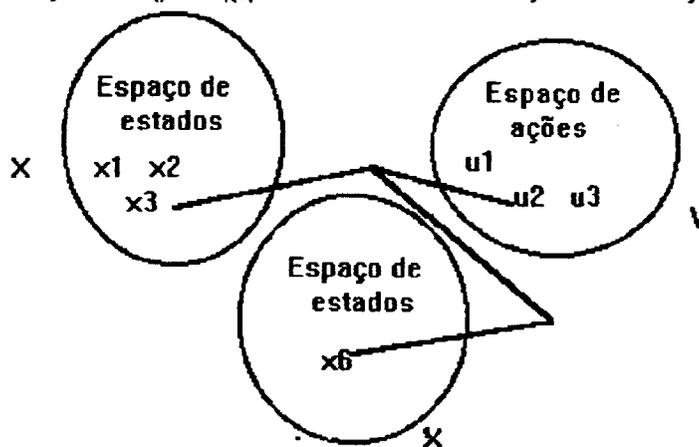


Figura 6.6 Tomando decisões difusas II

Se, como um procedimento final de avaliação quanto a essa decisão difusa, nós escolhermos aquela decisão que maximize a função de pertinência, ou seja, escolhermos aqueles  $(u'_0 \dots u'_{N-1})$  e  $u^V$  para os quais:

$$\nu_{\underline{D}}(u'_0 \dots u'_{N-1}) = \max_{u_0 \dots u_{N-2} u_{N-1}} [\max \nu_{C_0}(u_0) \wedge \dots \wedge \nu_{C_{N-2}}(u_{N-2}) \wedge \nu_{C_{N-1}}(u_{N-1}) \wedge \nu_{\underline{G}_N}(f(x_{N-1}, u_{N-1}))]$$

a qual pode ser escrita de outra forma, como:

$$\max_{u_0 \dots u_{N-2}} [\nu_{C_0}(u_0) \wedge \dots \wedge \nu_{C_{N-2}}(u_{N-2}) \wedge \nu_{\underline{G}_{N-1}}(x_{N-1})]$$

onde:

$$\nu_{\underline{G}_{N-1}}(x_{N-1}) = \max_{u_{N-1}} [\nu_{C_{N-1}}(u_{N-1}) \wedge \nu_{\underline{G}_N}(x_N)]$$

Repetindo este processo iterativo de trás para a frente, nós obtemos a equação familiar de recorrência;

$$\nu_{\underline{G}_{N-n}}(x_{N-n}) = \max_{u_{N-n}} [\nu_{C_{N-n}}(u_{N-n}) \wedge \nu_{\underline{G}_{N-n+1}}(x_{N-n+1})]$$

com:

$$x_{N-n+1}(u_0) = f(x_{N-n}, u_{N-n}) \quad \text{onde } n = 1, 2, \dots, N$$

As decisões  $u'_0 \dots u'_{N-1}$  que maximizam a decisão difusa são obtidos maximizando-se sucessivamente a equação de recorrência resultante dos sucessivos  $u'_{N-n}$   $n = 1, 2, N$ .

Para compreendermos melhor o que falamos até agora, vamos ilustrar com um exemplo retirado do livro de Bellman e Zadeh (1970). Considere um sistema de três estados  $x_1, x_2, x_3$ , e duas entradas  $u_1, u_2$ . Vamos assumir um tempo de terminação do processo  $N = 2$ . Seja o objetivo difuso em  $t = 2$  ser definido por:

$$v_{G2}(x_1) = 0,3; \quad v_{G2}(x_2) = 1,0; \quad v_{G2}(x_3) = 0,8$$

e tomemos as restrições difusas em  $t = 0$  e  $t = 1$  como sendo definidas por:

$$\begin{aligned} v_{C0}(u_1) &= 0,7; \quad v_{C0}(u_2) = 1,0 \\ v_{C1}(u_1) &= 1 \quad ; \quad v_{C1}(u_2) = 0,6 \end{aligned}$$

A tabela de transição de estado é assumida como sendo a definida pela tabela abaixo.

*Tabela de transição de estados*

	$x_1$	$x_2$	$x_3$
$u_1$	$x_1$	$x_3$	$x_1$
$u_2$	$x_2$	$x_1$	$x_3$

Utilizando as técnicas de programação dinâmica, obtemos para os objetivos difusos, em  $t = 1$ :

$$v_{G1}(x_1) = 0,6; \quad v_{G1}(x_2) = 0,8; \quad v_{G1}(x_3) = 0,6$$

A tabela correspondente a melhor decisão é mostrada abaixo

*Decisão ótima em  $t = 1$*

estado em $t = 1$	ação
$x_1$	$u_2$
$x_2$	$u_1$
$x_3$	$u_1$

Da mesma maneira nós encontramos, para  $t = 0$

$$v_{G0}(x_1) = 0,8; \quad v_{G0}(x_2) = 0,6; \quad v_{G0}(x_3) = 0,6$$

com a tabela de decisão ótima seguinte

<i>Decisão ótima em t = 0</i>	
estado em t = 0	ação
$x_1$	$u_2$
$x_2$	$u_1$ ou $u_2$
$x_3$	$u_1$ ou $u_2$

Portanto, se o estado inicial em  $t = 0$  é  $x_1$ , a decisão que corresponde ao máximo consiste em se aplicar primeiramente a ação  $u_2$  e posteriormente aplicar  $u_1$  ou  $u_2$  e o resultado de  $v_{G2}$  será 0,8

É óbvio que abordagem empregada até agora pode ser estendida para os casos onde o sistema sob controle é estocástico. Basta que substituamos a tabela de transição de estados por probabilidades condicionais:

$$p(x_{t+1} | x_t, u_t)$$

Da mesma forma podemos tratar um objetivo difuso como se fosse um evento difuso. A probabilidade de um objetivo  $G_N$  visto dessa forma, pode ser expresso por:

$$P(G_N | x_{N-1}, u_{N-1}) = \sum_{x_N} v_{G_N}(x_N) \cdot p(x_N | x_{N-1}, u_{N-1})$$

As equações de recorrência para um sistema estocástico podem, portanto, ser expressas por:

$$v_{G_{N-n}}(x_{N-n}) = \max [v_{G_{N-n}}(u_{N-n}) \wedge E v_{G_{N-n+1}}(x_{N-n+1})]$$

com,

$$E v_{G_{N-n+1}}(x_{N-n+1}) = \sum_{x_{N-n+1}} v_{G_{N-n+1}}(x_{N-n+1}) \cdot p(x_{N-n+1} | x_{N-n}, u_{N-n})$$

$v_{G_{N-n+1}}$  definido como anteriormente numa iteração para trás.

#### 6.4.3.2 Programação Dinâmica Difusa e não Difusa

Para estender esta técnica para variáveis contínuas, consideremos um processo de controle em  $n$  estágios que comece em um estado  $x_0$  e tenha a função usual de transição de estados:

$$x_{t+1} = f(x_t, u_{t+1}) \quad t = 0, \dots, N-1$$

Para este sistema, objetivos difusos e restrições difusas podem ser definidas. É desejável obter um estado  $x_N$  'perto de zero', o objetivo difuso  $G$  pode ser definido por:

$$v_G(x_N) = e^{-K|x_N|} \quad k > 0$$

ou por:

$$v_G(x_N) = \begin{cases} 1 - |x_N|/d \\ 0 \end{cases} \quad \begin{cases} -d \leq x_N \leq d \\ \text{para qualquer outro valor} \end{cases}$$

De forma semelhante as restrições difusas devem ser tais que mantenham  $u_t$  'no entorno de zero', que pode ser expresso pelos seguintes conjuntos difusos:

$$v_{Ct}(u_t) = e^{-m|u_t|} \quad m > 0$$

ou por:

$$v_{Ct}(u_t) = e^{-m u_t^2} \quad m > 0$$

#### 6.4.4 Conclusões

Uma das aplicações mais alardeadas pela mídia dos conjuntos difusos se refere, exatamente, a controle de processos. Os japoneses anunciam que suas máquinas seguem uma programação difusa. Só o tempo dirá quanto a aplicabilidade dessas noções. Um fato, no entanto, merece ser destacado. Nós, seres humanos, pensamos de forma difusa. Todos preferimos um café quentinho e esse quentinho varia de pessoa para pessoa de forma difusa.

A Teoria dos Conjuntos Difusos se constitui numa tentativa de se representar a forma como nós humanos vemos o mundo. Um selvagem, primitivo, ao ver um avião voando por sobre a copa das árvores da floresta, não hesitará em classificá-lo como uma ave. Uma idéia que, acreditamos, possa se somar às extensões propostas seria a de se ter Conjuntos Difusos Construtivistas onde a função de pertinência seria feita dependente do tempo de maneira a refletir o efeito da aprendizagem resultando da diminuição da incerteza que temos sobre muitos fatos do mundo.

## 6.5 Lógica Operatória

### 6.5.1 Fundamentos da Lógica Piagetiana

O progresso obtido quando se passa das operações concretas para as operações formais corresponde ao emprego, pela criança, de lógicas cada vez mais poderosas. A busca de Piaget é pela lógica das totalidades, onde se supere o reducionismo incompatível com a autopoiese. Dentro do pensamento piagetiano o conhecimento é um conjunto de ações que podem ser reais ou potenciais, exteriores ou interiores. A Lógica de Piaget não é uma Lógica Proposicional mas uma Lógica de Ações, uma Lógica Operatória.

Numa primeira etapa se busca a meta-lógica, ou seja, a lógica da lógica pela qual nós humanos derivamos a Lógica de Predicados. Em outras palavras: "Quais são as ações que realizamos para desenvolver o pensamento formal?"

A Lógica de Predicados (Interproposicional) se constitui num Reticulado. Reticulados são conjuntos parcialmente ordenados onde é possível se definir um Supremo e um Ínfimo e podem ser definidos por:

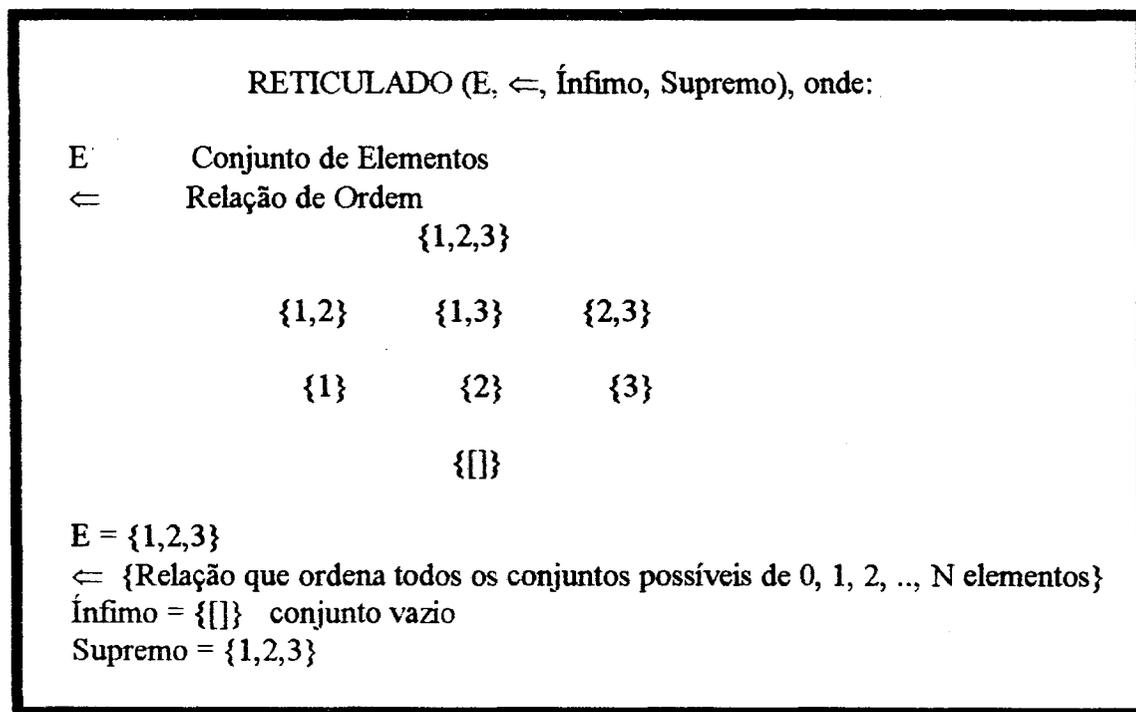


Figura 6.7 A estrutura de reticulado

As crianças vão construindo paulatinamente esse formalismo dentro de uma construção que se estabelece na fase sensório-motora, se consolida com a conquista do símbolo e se desenvolve com as categorizações que irão conduzir aos agrupamentos.

Observe na figura abaixo que, ainda que se tenha um Supremo para Cães e Gatos (no caso Mamíferos), é impossível se determinar um Ínfimo. A Composição Interproposicional consiste na aplicação, às proposições, de operadores lógicos. Trabalha-se com a Forma:

$$ap \wedge (p, q) \Rightarrow p \wedge q \text{ (aplique o operador } \wedge \text{)}$$

$$ap \vee (p, q) \Rightarrow p \vee q \text{ (aplique o operador } \vee \text{)}$$

$$ap \rightarrow (p, q) \Rightarrow p \rightarrow q \text{ (aplique o operador } \rightarrow \text{)}$$

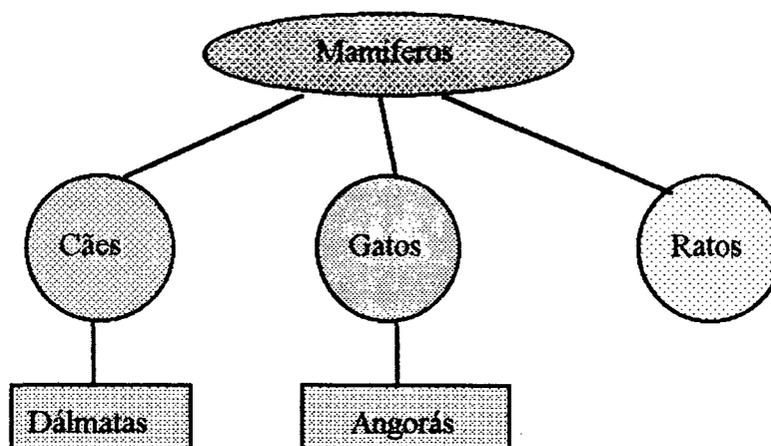
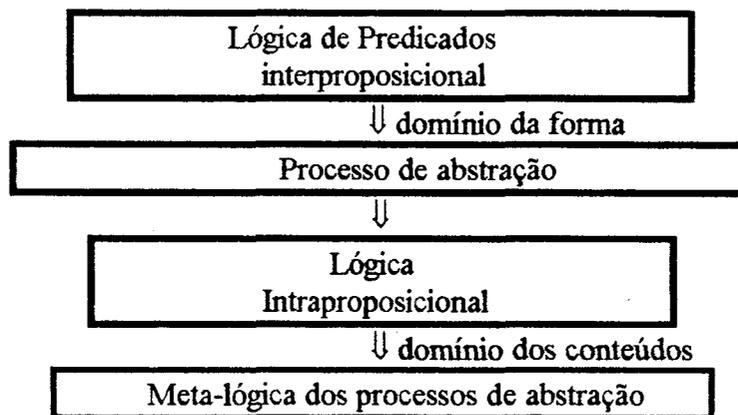


Figura 6.8 Classificações primitivas

A Lógica de Piaget é a Lógica de Predicados, mas analisada sob o enfoque de ação. Aplicação de operadores, construindo proposições mais complexas. Por exemplo, considere as seguintes proposições onde A é verdadeiro e B é algo que desejamos concluir.:

A	"Hoje é sábado"
B	"Amanhã vai chover"

Na Lógica Clássica  $A \rightarrow B$  pode ser verdade em algum 'mundo hipotético', pois estou preocupado apenas com a forma. Na Lógica Operatória que lida com as 'realidades construídas por cada individualidade' é um sem sentido.



O pensamento formal, para Piaget, não é, simplesmente, um estado acabado, mas um processo que se apoia em estruturas que se elaboram segundo níveis. A medida em que se aumenta o nível de abstração, caminhando-se de uma lógica para outra de maior complexidade, perde-se em formalismo e ganha-se em generalidade.

É evidente, por exemplo, que exista uma meta-lógica associada ao Processo de Abstração. Um exemplo clássico é o de se mostrar a uma criança um jarro com 10 rosas e 2 margaridas: Pergunta-se:

- ⊙ Quantas rosas tem no jarro?                    10
- ⊙ Quantas margaridas tem no jarro?            2
- ⊙ O que tem mais, flores ou rosas?        *Rosas!*

A criança empregou um raciocínio, ou seja, uma lógica ao responder essa pergunta. Este raciocínio é evolutivo e segue uma construção que está por detrás de todos os formalismos desenvolvidos pelo cérebro humano. É uma meta-lógica no sentido que é a lógica que explica as construções das diversas lógicas sejam elas convencionais ou não convencionais. Isso é diferente do conceito de 'maior ordem' ou 'não convencionalismo' que são sofisticações 'horizontais' e não abstrações 'verticais'.

Uma crítica à tese de Piaget é feita por Fodor (Drescher, p. 38) que argumenta que se tal progressão ocorre, isto não se deve à aprendizagem. A essência do argumento de Fodor é que lógicas menos poderosas, por definição, simplesmente não podem expressar e, portanto, não podem construir lógicas mais poderosas.

Um autômato de estado finito é estritamente menos poderoso que uma máquina de Turing: Uma máquina de Turing pode simular um autômato de estado finito mas o contrário não ocorre. Segundo Fodor, extrapolando por meio de uma analogia entre lógica e classes de entidades computacionais, um autômato de estado finito não pode aprender a ser uma máquina de Turing. A despeito disso os computadores digitais em operação, autômatos de estado finito, são vistos como equivalentes às máquinas de Turing (idealizando uma memória infinita), o que é um contra-argumento à tese de Fodor.

#### 6.5.1.1 Fundamentos da Lógica Operatória<sup>1</sup>

A divisão em períodos de desenvolvimento evidencia três tipos de estruturas que existiriam dentro dos cérebros humanos:

- ⊙ Estruturas ou grupos sensório-motores.
- ⊙ Estruturas ou agrupamentos de operações concretas.
- ⊙ Estruturas formais correspondendo aos grupos e reticulados.

<sup>1</sup>Daqui até o final vamos resumir o excelente trabalho de Wazlawick (1993)

O problema geral da epistemologia genética é o de descobrir a natureza dos conhecimentos em função de seus mecanismos formadores. Na origem da lógica operatória está a necessidade de compreender como as estruturas elementares de classes, relações, números, proposições, etc., são construídas e que relações existem entre estas estruturas e as operações do pensamento natural.

A proposição atômica é o elemento básico de qualquer lógica. Corresponde a um juízo que afirma algum fato sobre algum objeto do domínio de discurso. A maioria das frases da língua natural, exceto as exclamações, interrogações e imperativos, constituem proposições. Por exemplo: "*João está dormindo*", "*Hoje é sábado*", etc, são exemplos de proposições atômicas. "*João está dormindo porque hoje é sábado*" é uma proposição composta. Ao longo do texto, sempre que falarmos em proposições, sem nenhuma informação adicional, estaremos nos referindo a proposições atômicas.

Uma proposição pode ser verdadeira ou falsa, dependendo da situação existente no mundo ao qual ela se aplica. O valor de uma proposição será referenciado como valor semântico da proposição. Por exemplo, se hoje for segunda-feira então a proposição "hoje é sábado" tem valor semântico "falso".

Proposições são sentenças declarativas afirmativas e atômicas, isto é, sem conectivos lógicos como "ou", "e", "implica", etc. As proposições serão denotadas por letras como  $p$ ,  $q$ ,  $r$ , etc. Se  $p$  representa a proposição "*hoje é sábado*" então  $\bar{p}$  representará a negação desta proposição. Ou seja,  $\bar{p}$  = "*hoje não é sábado*".

As operações que se podem realizar sobre as proposições dividem a lógica operatória em duas grandes partes, a intra e a interproposicional. A lógica intraproposicional corresponde ao domínio das operações concretas sobre classes e relações, enquanto que a interproposicional corresponde às operações da lógica formal, proposicional. As operações de natureza interproposicional consistem em um conjunto de operações que compõem uma proposição com outra, ou com ela mesma, de modo a obter uma nova proposição, bem determinada quanto a seu valor semântico. Seja a proposição "*Scooby é um beagle*"; nela pode-se identificar:

- ☛ *Forma*: neste caso, um enunciado categórico *Beagle(Scooby)* que pode ser verdadeiro ou falso. A forma trata apenas da ligação formal  $a(x)$  entre os elementos do enunciado.
- ☛ *Conteúdo*: é a intenção do enunciado, algo que leva à compreensão do objeto *Scooby* e do predicado *Beagle*.

Piaget chama de *interproposicional* toda composição que permita construir, a partir de proposições quaisquer, das quais se conheça apenas os valores semânticos, outras proposições bem determinadas e caracterizadas pelas combinações possíveis desses valores semânticos.



Chama-se de *estrutura* a toda ligação lógica suscetível de desempenhar alternativamente o papel de forma e de conteúdo. Toda estrutura cognitiva deve ser capaz de ligar conteúdos cuja natureza constitui formas em outros níveis. Assim, cada estrutura é forma em relação às estruturas inferiores e conteúdo em relação às superiores. Este fato é que caracteriza a lógica como processo dinâmico de abstração.

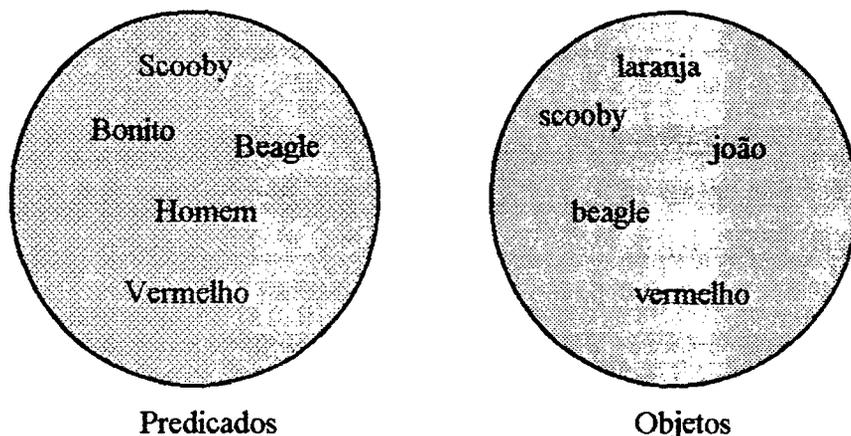


Figura 6.10 É possível se pertencer ao universo dos predicados e dos conteúdos

Posso dizer "Scooby é um Beagle" em que o Scooby é um elemento da classe dos Beagles; "Scooby é Bonito"; onde esse mesmo elemento pertence também a classe das coisas bonitas ou "Scooby tem pulgas"; onde acabei de definir uma classe das coisas que o Scooby possui. O Scooby foi elevado de objeto a predicado.

*Conteúdo extra-lógico* refere-se aos termos que só podem desempenhar o papel de conteúdos. Os conteúdos extra-lógicos correspondem aos padrões percebidos pelo sujeito no mundo exterior. Estes termos não podem desempenhar o papel de formas neste contexto. Os conteúdos extra-lógicos correspondem, então, à base do edifício de formas e conteúdos construído pela lógica. Os conteúdos extra lógicos serão sempre arbitrados pelo 'bom senso'. Do átomo chego ao próton, do próton ao quark, do quark a ...

#### 6.5.1.1.2 Distinção entre Classes, Relações e Operações

Um termo determinado de uma proposição pode ser substituído por um termo qualquer. Por exemplo, a proposição "este cravo é vermelho" pode tornar-se " $x_1$  é vermelho", se  $x_1$  denota "este cravo". Se o predicado *vermelho* for denotado por " $a$ ", então pode-se escrever simplesmente " $ax_1$ ". Se a constante  $x_1$  for substituída por uma variável  $x$ , então tem-se a proposição genérica  $ax$ .

Quanto à proposição  $ax$ , não se pode dizer se ela é verdadeira ou falsa, porque seu valor semântico depende da identidade associada à variável  $x$ . Uma *função proposicional*  $ax$  é um enunciado nem verdadeiro nem falso, mas suscetível de adquirir um valor semântico segundo os argumentos que substituem a variável  $x$ .

A uma função proposicional  $ax$  pode-se associar uma classe, a dos elementos que a satisfazem, definida por  $\{x \mid ax\}$ , ou seja, conjunto de todos os objetos  $x$  que tornam verdadeira a função proposicional  $ax$ . Esta classe pode, eventualmente, ser vazia. Reciprocamente, a cada classe pode-se associar uma função proposicional, que será verdadeira somente para os elementos da classe.

Uma *classe* é, portanto, o conjunto dos objetos que podem ser substituídos uns pelos outros, a título de argumentos, conferindo um valor semântico "verdadeiro" a uma função proposicional. Para distinguir classes de relações não é suficiente considerar a diferença entre funções de um argumento (classes) ou mais de um argumento (relações). Dois termos  $x_1$  e  $x_2$  que tornam a função  $ax$  verdadeira mantêm entre eles pelo menos uma relação: a relação de equivalência do ponto de vista de  $ax$ . A classe  $\{x \mid ax\}$  está, portanto, qualificada por meio desta mesma equivalência, que é uma relação. Por outro lado, na função com dois argumentos,  $bxy$  a relação é constituída pelo predicado, enquanto os termos  $x$  e  $y$  correspondem ao campo da relação, e formam uma classe enquanto ligados pela relação  $b$ .

A toda relação  $bxy$ , distingue-se o domínio  $\{x \mid \exists y bxy\}$ , o co-domínio  $\{y \mid \exists x bxy\}$ , e o campo, formado pela união do domínio com o co-domínio. Seja, por exemplo a relação "Scooby é namorado de Karen"; que pode ser representado por *Namorado (Scooby, Karen)*. Se alguém tem uma namorada, esse alguém é um elemento do domínio da relação. De forma análoga, se alguém tem um namorado, esse alguém é um elemento do co-domínio.

É preciso distinguir o campo de uma relação de sua alçada, que é o conjunto dos pares ordenados que satisfazem a expressão  $\{(x,y) \mid bxy\}$ . Isto permite falar, sem confusão, nos domínios, co-domínios e campos de relações como formas de sua extensão.

Quanto às formas de extensões, há o caso das relações simétricas, quer dizer, das relações  $b$ , tal que sempre que  $bxy$  é verdade, então  $byx$  também é verdade. As relações simétricas são caracterizadas pelo fato de que seu domínio coincide com seu co-domínio e com seu campo. Vê-se então que as *relações simétricas* caracterizam classes bastante simples do ponto de vista da estrutura: aquelas em que os indivíduos são simplesmente reunidos devido a suas qualidades comuns. Em tal caso, a compreensão comporta pelo menos uma relação: a relação de equivalência exprimindo a co-posseção de uma mesma qualidade e determinando a co-pertinência a uma mesma classe.

Há, em segundo lugar, as *relações assimétricas*, ou seja, as relações onde quaisquer que sejam  $x$  e  $y$ , se  $bxy$  for verdade, necessariamente  $byx$  será falso. O domínio de uma relação assimétrica é distinto de seu co-domínio. Por exemplo: *Pai (x,y)*;  $x$  é pai de  $y$  é uma relação assimétrica. Para três objetos  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$ , relacionados por:  $x_1 < x_2$  e  $x_2 < x_3$ , o domínio é  $\{x_1, x_2\}$  e o co-domínio é  $\{x_2, x_3\}$ . Quanto ao campo  $\{x_1, x_2, x_3\}$ , ele só é definido pela propriedade dos objetos poderem ser comparados (por exemplo, quanto ao seu peso). Neste caso, a extensão da relação constitui uma classe, enquanto a própria relação é constituída pelas conexões em compreensão.

Um *relacionamento* é uma ligação que caracteriza um termo por intermédio de outro. Uma *relação* é constituída por um conjunto de relacionamentos. Quanto à distinção entre relação e operação, freqüentemente se sustenta em lógica e em matemática que as próprias operações constituem relações. Assim duas classes  $A$  e  $A'$  podem ser reunidas em uma mesma classe total  $A \cup A' = B$ , e se duas classes  $X$  e  $Y$  podem admitir elementos comuns, sua intersecção  $X \cap Y$  constituirá uma nova classe  $Z$ , formada pelos elementos pertencentes ao mesmo tempo a  $X$  e a  $Y$ . As operações de reunião e intersecção podem ser concebidas como relações reunindo  $A$ ,  $A'$  e  $B$ , e  $X$ ,  $Y$  e  $Z$ . Por outro lado, se poderia sustentar que toda relação é uma operação de reunião de termos.

Mas se é possível conceber a construção da relação (e da classe) como solidária a um sistema de operações, é indispensável distinguir as relações dadas ou construídas (mas permanecendo invariantes) das operações, que são transformações que modificam as estruturas às quais se referem. Uma *operação seria a ação necessária para transformar uma estrutura em outra*. A *operação tem caráter construtivo*, por oposição à invariância estática das relações, enquanto não compostas entre elas por meio de operações.

Será chamada de *operação* a transformação reversível de uma estrutura em uma outra, seja por modificação da forma, seja por substituição referente ao conteúdo. O aspecto de reversibilidade das operações é importantíssimo para o estabelecimento dos mecanismos preditivos da ação, o que caracteriza a racionalidade. Na falta de reversibilidade, as ações podem ser, no máximo, classificadas como, pré-operações, se estiverem a ponto de alcançar a sua reversibilidade final. Tal aspecto se identifica com a classificação dos níveis pré-operatório e operatório da teoria de Piaget.

### 6.5.1.1.3 As Diversas Estruturas de Classes

Piaget distingue três estruturas de classes; as classes estruturadas, as fracamente estruturadas e as semi-estruturadas.

Um exemplo de *classe fracamente estruturada* é dada pela zoologia. Sejam classes  $A = \{x|ax\}$ , o conjunto dos 'x' tais que 'x' é um cachorro;  $B = \{y|by\}$ , o conjunto dos 'y' tais que y é um mamífero e  $C = \{z|cz\}$ , o conjunto dos 'z' tais que 'z' é um vertebrado, etc., em que  $A \subset B \subset C \subset \dots$ . Se dois termos  $y_1$  e  $y_2$  são, por exemplo, um elefante e um golfinho, ou seja, elementos de  $B$ , da classe dos mamíferos, pode-se enunciar  $y_1 \overset{B}{\longleftrightarrow} y_2$ , ou seja, golfinhos e elefantes são equivalentes relativamente à classe  $B$ .

Como  $B$  é definida pela propriedade  $b$ , também é conveniente enunciar  $y_1 \overset{b}{\longleftrightarrow} y_2$  para indicar a co-posse, por  $y_1$  e  $y_2$ , da qualidade  $b$ . O mesmo raciocínio pode ser seguido para  $A$ ,  $C$ ,  $D$ , etc.

Classes *fracamente estruturadas* são qualificadas por qualidades comuns a seus elementos, sem que nenhuma operação permita deduzir a partir dessas propriedades as qualidades próprias a outras classes quaisquer.

As relações  $\leftarrow^a$ ,  $\leftarrow^b$ ,  $\leftarrow^c$ , etc., que intervêm na definição anterior, são as que constituem a compreensão correspondente às classes  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , etc. Por exemplo, a relação  $\leftarrow^a$  existente entre os indivíduos da classe  $A$  significará que eles possuem em comum os caracteres específicos dos cachorros; a relação  $\leftarrow^b$  definirá, da mesma maneira a classe  $B$  dos mamíferos pela posse comum das glândulas mamárias; e a relação  $\leftarrow^c$  definirá a classe  $C$  dos vertebrados. Tais relações serão chamadas de *equivalências qualitativas*.

As relações  $\leftarrow^a$ ,  $\leftarrow^b$ , etc., ao qualificarem as classes fracamente estruturadas constituem propriedades dadas, e não construídas. Isto quer dizer que não se pode transformar  $\leftarrow^b$  em  $\leftarrow^c$  ou em  $\leftarrow^a$ . Não se pode, com efeito conceber as vértebras dos cachorros a partir das glândulas mamárias ou vice-versa.

Classes semi-estruturadas são, por exemplo, as seriações onde não é possível se construir uma diferença elementar a partir da outra. Sejam objetos  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , seriados segundo suas diferenças  $(x_1, x_2), (x_2, x_3), \dots, (x_{n-1}, x_n)$ . Aqui, de novo, como no caso das classes fracamente estruturadas, as relações parciais em jogo são dadas e não construídas.

Suponha-se, ao contrário, uma série de intervalos decrescentes segundo uma lei determinada (como os segmentos iguais de uma reta, mas vistos em perspectiva). Neste caso, uma operação dada (neste exemplo uma transformação projetiva) permite construir diferenças sucessivas a partir de uma dentre elas. Não se está mais tratando de uma classe semi-estruturada, como as da definição mas sim de uma *classe estruturada*, ou seja, classes tais que, partindo das propriedades que caracterizam uma classe qualquer se possa por meio de operações dadas, compor as relações que qualificam outras classes. Considere-se, por exemplo, a equação geral das secções cônicas:

$$Ax^2 + Ay^2 + Bxy + Cx + Cy + D = 0$$

equação na qual se tem, para o círculo  $A=A'$  e  $B=0$ , vê-se imediatamente que o círculo não é apenas uma secção cônica (*genus*) adicionada a um certo número de propriedades sem conexão com as propriedades das secções cônicas. As propriedades do círculo resultam de uma transformação das propriedades da elipse, da parábola, etc., e são justamente estas transformações que conduzem de uma classe a outra, embora conservando certas invariantes que caracterizam a classe geral das secções cônicas.

A maioria das classes matemáticas são estruturadas, mas não todas. Por exemplo, os sub-conjuntos de um conjunto qualquer não constituem, por si mesmos, um sistema de classes estruturadas.

As teorias matemáticas supõe a intervenção de classes estruturadas. Pode-se, porém, construir toda a lógica das classes, das relações e das proposições por meio apenas das noções relativas às classes fracamente e semi-estruturadas.

A diferença essencial entre as classes fracamente ou semi-estruturadas de um lado, e as classes estruturadas de outro, prende-se às relações entre suas *formas* e seus *conteúdos*.

A forma de uma construção lógica é o que permanece imutável em caso de substituição de dados, enquanto que o conteúdo é constituído pelo dado substituível. Deste ponto de vista, as classes fracamente ou semi-estruturadas são construídas por meio de relações simplesmente dadas, cujo conteúdo pode ser extra-lógico. Sua forma é, pois, a menos rica das formas lógicas. Ao contrário, as classes estruturadas, apresentam, desde o início, uma forma mais rica do que as precedentes, já que, além das relações entre as partes e o todo, elas comportam em extensão, relações entre as próprias partes e, em compreensão, uma caracterização das propriedades das subclasses em função das do sistema total.

Por exemplo, uma seqüência de intervalos encaixados, que convergem para um ponto limite, implica uma lei de construção com a qual todas as partes são solidárias. Disto decorre que, no lugar de referir-se diretamente a um conteúdo extra-lógico, as classes estruturadas ou extensivas constituem formas que tem outras formas por conteúdo, as quais consistem de construções lógicas próprias.

## 6.5.2 Estruturas da lógica operatória

A lógica intraproposicional divide-se em dois grandes grupos: Lógica das Operações de Classes e Lógica das Operações de Relações. Enquanto as operações da lógica interproposicional constituem uma estrutura de grupo, as da lógica intraproposicional constituem agrupamentos.

### 6.5.2.1 Estruturas da lógica interproposicional

Uma *álgebra* é uma estrutura  $(C_1, C_2, \dots, C_k; f_1, f_2, \dots, f_l)$  onde  $C_1, C_2, \dots, C_k$  são conjuntos chamados *carregadores da álgebra*, e  $f_1, f_2, \dots, f_l$  são *funções* definidas sobre estes conjuntos. Cada função da álgebra tem uma aridade associada a ela, que corresponde aos conjuntos domínio e contradomínio. A aridade das funções é descrita da seguinte forma:  $f_i : C_{i1} \times C_{i2} \times \dots \times C_{in} \mapsto C_j$ . Esta forma de notação indica que a função  $f_i$  toma seus parâmetros nos conjuntos  $C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{in}$  e retorna um resultado no conjunto  $C_j$ . Além da aridade, pode-se definir algumas propriedades para as funções da álgebra. Por exemplo:

$x+0 = x$	para qualquer $x \in N$
$x \leq x = \text{Verdadeiro}$	para qualquer $x \in N$
$x \leq x+y = \text{Verdadeiro}$	para quaisquer $x \in N$ e $y \in N$
$x+y \leq x = \text{Falso}$	para quaisquer $x \in N$ e $y \in N-\{0\}$

A primeira propriedade estabelece que a constante  $0$  é um *elemento neutro* para a operação de soma. A segunda propriedade garante que qualquer número natural é maior ou igual a ele próprio. A terceira propriedade garante que qualquer número natural é menor ou igual a ele próprio somado a outro número natural. A quarta propriedade diz que um número natural  $x$  somado a um número natural  $y$  (sendo  $y$  diferente de zero) nunca é menor ou igual a  $x$ .

O grupo é uma das estruturas matemáticas fundamentais. Formalmente o grupo contém um único domínio  $C$  e três operações: uma operação binária  $\circ$  chamada *composição*, uma operação unária  $^{-1}$ , chamada *inversão* e uma constante  $0$ , que faz o papel de elemento neutro em relação à composição. Formalmente, o grupo consiste de uma álgebra  $(C; \circ, ^{-1}, 0)$  em que caracterizamos um domínio, um conjunto de operações e propriedades associadas, a saber::

☛ Domínios

$C =$  conjunto de elementos

☛ Operações

$\circ : C \times C \mapsto C$

$^{-1} : C \mapsto C$

$0 : \mapsto C$

☛ Propriedades

$x \circ x^{-1} = 0$  para qualquer  $x \in C$

$x \circ 0 = x$  para qualquer  $x \in C$

$0 \circ x = x$  para qualquer  $x \in C$

$x \circ (y \circ z) = (x \circ y) \circ z$  para quaisquer  $x, y, z \in C$

As duas primeiras propriedades do grupo estabelecem as relações entre a operação de composição, a inversão e o elemento neutro. A terceira propriedade define que a composição é uma operação associativa. Diz-se que um grupo  $(C, \circ, ^{-1}, 0)$  é *abeliano* se, além das propriedades acima, exibe *comutatividade*, ou seja,  $x \circ y = y \circ x$  para qualquer  $x, y \in C$ .

Um sistema de classificação pode ser modelado por uma álgebra  $(C; o_1, o_2, \dots, o_n)$ , onde  $C$  é um domínio cujos elementos são classes, e  $o_1, o_2, \dots, o_n$  é um conjunto de operações sobre classes. Para modelar sistemas de classificação duas operações surgem de imediato: a *união simples*, e a *união disjunta*.

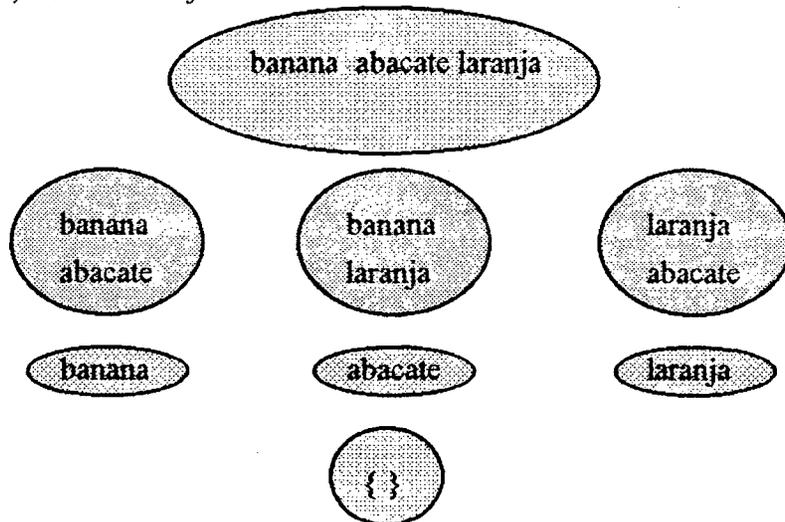


Figura 6.11 Conjunto das partes de  $E = \{\text{banana, laranja, abacate}\}$

Seja  $E$  um conjunto de objetos a serem classificados {banana, abacate, laranja}. O conjunto  $C$  das classes que podem ser definidas sobre estes objetos estaria contido no conjunto das partes de  $E$ , ou seja,  $C \subseteq \mathcal{P}(E)$ . O conjunto das partes de um conjunto  $E$  consiste do conjunto de todos os subconjuntos de  $E$ , ou seja:  $\mathcal{P}(E) = \{X \mid X \subseteq E\}$

Verifica-se que a *união disjunta*, simbolizada por  $\ominus$ , constitui um grupo sobre o domínio  $\mathcal{P}(E)$ . Neste caso, se poder tentar modelar a estrutura de classificação com o grupo abeliano de Bernstein: o grupo da adição das partes disjuntas:  $(\mathcal{P}(E); \ominus, \_, \{\})$ . Seja  $E$  um conjunto e  $\mathcal{P}(E)$  o conjunto de suas partes. Se  $x$  e  $y$  são duas partes quaisquer de  $E$  (elementos de  $\mathcal{P}(E)$ ), a operação binária  $\ominus$  é definida da seguinte maneira:  $x \ominus y$  é a parte de  $E$  que contém os elementos de  $x$  que não pertencem a  $y$  e os elementos de  $y$  que não pertencem a  $x$ , ou seja:

$$x \ominus y = (x \cup y) - (x \cap y)$$

Duas classes sem elementos comuns, como por exemplo Vertebrados e Invertebrados podem ser compostas por este operador. Assim:

$$\text{Vertebrados} \ominus \text{Invertebrados} = \text{Animais}$$

A classe *Animais* corresponde, portanto, ao conjunto dos seres *Vertebrados* e *Invertebrados* que não pertençam simultaneamente às duas classes. A reversibilidade das operações é garantida para o operador  $\ominus$ , isto é, a expressão:

$$\text{Vertebrados} \ominus X = \text{Animais}$$

tem valor único para  $X$ , justamente pelo fato de que  $\ominus$  elimina em *Animais* os elementos comuns (se existissem) entre *Vertebrados* e *Invertebrados*. Este fato é que impede a formação de um grupo com o operador de união simples  $\cup$ .

Cada elemento no grupo da adição das partes disjuntas é inverso de si próprio, porque para todo  $x \in C$ :  $x \ominus x = \{\}$  isto é, a união disjunta de um conjunto com ele mesmo é vazia. O conjunto vazio funciona como elemento neutro, como pode ser observado na seguinte expressão:

$$x \ominus \{\} = x$$

A estrutura de grupo não é adequada para modelar a classificação natural composta apenas por classes fracamente estruturadas. Tomando-se o exemplo da classificação biológica dos seres vivos, pode-se considerar as espécies como classes elementares (indivisíveis) do conjunto  $\mathcal{P}(E)$ . Observa-se que a operação de união disjunta das espécies distintas, não constrói apenas os gêneros, famílias, etc, da estrutura de classificação. Isto ocorre, porque a operação  $\ominus$  esvazia a classificação de seu conteúdo qualitativo, isto é, ela reúne conjuntos quaisquer.

Assim, a união disjunta da espécie "raposa cinzenta" com a espécie "truta de rio", não constitui um gênero da classificação. Em termos do sistema de classes, tal reunião é sem significado.

Não são apenas as partes disjuntas de um conjunto que interessam à classificação; mas também os encaixes e desencaixes das classes entre si. As operações de reunião e intersecção devem levar em conta a contigüidade das classes em jogo. Este fato, limita a mobilidade dos elementos dentro do grupo, isto é, se  $x \circ y$  constitui uma classe,  $x \circ z$  não constitui classe necessariamente.

Além disso, há duas operações fundamentais sobre classes que este grupo não pode incorporar: a reunião de uma classe a ela mesma e a reunião de uma classe com as que a contém:  $x \cup x = x$  e se  $x \subseteq y$ , então  $x \cup y = y$ .

A segunda estrutura matemática relacionada à noção de classificação é a de reticulado, já definida anteriormente.

As classes determinadas pelo supremum e infimum desta estrutura são denominadas classes booleanas, devido ao isomorfismo destas operações com as operações da lógica booleana. Por exemplo, o supremum dentre as classes Mamífero e Animal-Aquático seria a classe booleana Mamífero-ou-Animal-Aquático, composta por todos os mamíferos (aquáticos ou não) e por todos os animais aquáticos, sejam mamíferos ou não. Já o infimum dentre estas classes seria a classe booleana Mamífero-e-Animal-Aquático, formada por todos os mamíferos que são simultaneamente animais aquáticos, como a baleia, o golfinho, etc.

Embora esta modelagem seja mais aceitável para as classes naturais do que a de grupo, uma vez que o reticulado representa a estrutura de encaixes das classes, três circunstâncias limitam sua alçada:

- ⊙ A classificação constitui apenas um semi-reticulado, já que o infimum não está definido para todo par de classes. Por exemplo, as classes Raposa e Truta não possuem um infimum, isto é, a classe Raposa-e-Truta não existe. Uma hipótese para solucionar este problema é considerar que este tipo de classe é vazia, mas isto leva ao problema seguinte:
- ⊙ Diversos pares de classes tem o mesmo supremum e/ou o mesmo infimum, quando ele existe. O supremum de uma classe  $X$  e qualquer de suas subclasses  $Y$  ( $Y \subseteq X$ ) é dado por:  $X \cup Y = X$ . Por exemplo a classe *Mamífero-ou-Rato* corresponde a  $Mamífero \cup Rato$ , o que é igual a *Mamífero*, simplesmente.
- ⊙ Não há reversibilidade completa nas operações. Se a um par de classes corresponde um só supremum, a operação inversa, que corresponderia a encontrar essas duas classes a partir de seu supremum nem sempre é possível, em virtude de (b). Seja por exemplo, a composição ( $Gato \cup Mamífero$ ) = *Mamífero*. A composição inversa, seria dada pela expressão:

$$(X \cup \text{Mamífero}) = \text{Mamífero}$$

Neste caso, não existe um valor único para ser substituído por  $X$  na expressão, uma vez que ela se torna verdadeira para várias subclasses de *Mamífero*.

### 6.5.2.2 Estruturas da lógica intraproposicional, os agrupamentos

Para tratar as noções próprias à classificação é necessário empregar uma estrutura que englobe encaixes de reticulados e reversibilidade de grupos. Para preencher estes requisitos, Piaget definiu a estrutura de agrupamento. As operações intraproposicionais podem referir-se às classes ou às relações, o que constitui duas possibilidades.

Essas mesmas operações podem ser aditivas ou multiplicativas: ainda duas possibilidades, do que resultam quatro agrupamentos possíveis: a adição das classes, e das relações assimétricas (seriação), a multiplicação das classes e a multiplicação das relações. A isto se acrescenta o fato fundamental de que, em vez de se limitar aos encaixes dos termos secundários nos termos primários ( $A'$  em  $B$ , etc), o agrupamento pode se referir às relações dos termos secundários entre eles, o que duplica de novo o número dos agrupamentos. Tem-se, pois, o quadro exaustivo seguinte, correspondendo às oito combinações precedentes:

- I. Adição das classes encadeadas
- II. Adição das classes hierárquicas
- III. Multiplicação co-unívocas das classes
- IV. Multiplicação biunívoca das classes
- V. Adição das relações assimétricas
- VI. Adição das relações simétricas
- VII. Multiplicação co-unívocas das relações
- VIII. Multiplicação biunívoca das relações

A seguinte tabela demonstra as três dicotomias possíveis entre os agrupamentos.

		Agrupamentos de Classes		Agrupamentos de Relações	
		Aditivos	Multiplicativos	Aditivos	Multiplicativos
Primários		I	IV	V	VIII
Secundários		II	III	VI	VII

Figura 6.12 Tabela de tripla entrada dos oito agrupamentos

Para caracterizar o agrupamento como estrutura algébrica, é necessário definir quais as propriedades mínimas que esta estrutura deve possuir. Através das definições de Grize, Castorina e Wermus, é possível perceber que um agrupamento deve ser uma estrutura de grupo onde a composição não é fechada no conjunto das classes, isto é, onde ela nem sempre é válida.

Palau e Castorina definiram algumas condições para que uma estrutura seja um agrupamento. Esta definição será apresentada com as modificações acrescentadas por Wazlawick de modo a manter a consistência com os trabalhos de Piaget e Grize. A noção de ordem parcial dos reticulados é substituída pela relação assimétrica, intransitiva e irreflexiva chamada *contigüidade*, e representada por  $\sqsubset$ .

O agrupamento deve ser entendido como um esquema de estrutura algébrica operatória capaz de se aplicar a diversos conteúdos diferentes, assim como o grupo é um esquema capaz de ser aplicado à diversos tipos de conjuntos e operações.

A lógica das classes fracamente estruturadas é descrita por Piaget através de quatro agrupamentos cujos elementos são operações associadas a classes. A lógica das relações, por sua vez, é representada por outros quatro agrupamentos, os quais mantêm a mesma forma operatória (isomorfismo) que os agrupamentos de classes.

É necessário identificar, para cada agrupamento certos elementos:

- ⊗ Os objetos aos quais as operações se aplicam, ou seja, o conjunto  $C$ . O conjunto  $O$ , é um conjunto de operações. Uma operação é uma ação reversível aplicada sobre algum objeto de  $C$ . A possibilidade de reversão destas ações é garantida pela existência da função  $^{-1}$ . Há, pois, dois tipos de operações no conjunto  $O$ , as diretas, representadas por  $+X$  e as inversas, representadas por  $-X$ , onde  $X$  é o objeto que sofre a ação. Dependendo do tipo de agrupamento, os objetos de  $C$  podem ser classes simples, classes compostas, relacionamentos assimétricos, simétricos, co-unívocos ou biunívocos.
- ⊗ Os objetos de  $C$  devem possuir entre si uma relação de contigüidade, representada por  $\sqsubset$ . O conjunto das classes simples, por exemplo, não pode ser um mero conjunto, mas um conjunto estruturado por uma relação de contigüidade. A relação existente entre os objetos de  $C$  determina as composições definidas das operações de  $O$ . Como só produz resultado em  $O$  uma composição de elementos contíguos, é necessário estabelecer claramente a relação entre os elementos de  $C$ .

Assim, os oito agrupamentos da lógica operatória serão descritos pela caracterização dos objetos operados e da relação de contigüidade destes objetos. Certas propriedades especiais de cada agrupamento serão descritas, se necessário.

**Definição 17 (Agrupamento):**

Um agrupamento é uma estrutura algébrica  $(C, O; +, -, \circ, ^{-1}, \theta, \sqsubset)$  com:

## Domínios

$C$  = Conjunto de objetos

$O$  = Conjunto de operações definidas por:  $O = \{+x | x \in C\} \cup \{-x | x \in C\} \cup \{0\}$

## Operações

$+$ : $C \mapsto O$	<i>operação direta</i>
$-$ : $C \mapsto O$	<i>operação inversa (reversibilidade)</i>
$\circ$ : $O \times O \mapsto O \cup \{\text{indef}\}$	<i>nem sempre terá um sentido, como veremos</i>
$-1$ : $O \mapsto O$	<i>inversa</i>
$0$ : $\mapsto O$	<i>elemento neutro</i>
$\sqsubset \subseteq (C \times C) \cup (O \times O)$	<i>contigüidade</i>

## Propriedades (mínimas):

- ⊛ se  $x$  é contíguo a  $y$ , ao aplicar a mesma operação direta a ambos, os elementos resultantes estarão contíguos;  $+x \sqsubset +y$  se  $x \sqsubset y$
- ⊛ o mesmo é válido para as operações inversas;  $-x \sqsubset -y$  se  $x \sqsubset y$
- ⊛ a inversa da operação direta corresponde a operação inversa;  $+x^{-1} = -x$  se  $x \in C$
- ⊛ a inversa da operação inversa corresponde a operação direta;  $-x^{-1} = +x$  se  $x \in C$
- ⊛ operar qualquer elemento do conjunto carregador com o elemento neutro resulta no próprio elemento;  $p \circ 0 = p$  se  $p \in C$
- ⊛ operar qualquer elemento com sua inversa resulta no elemento neutro;  $p \circ p^{-1} = 0$  se  $p \in C$
- ⊛ operar um elemento com outro encaixado<sup>2</sup> nele ou com si mesmo resulta no próprio elemento;  $p \circ q = p$  se  $q \sqsubset p$  ou  $q = p$
- ⊛ operar um elemento com outro no qual está encaixado ou com si mesmo resulta no outro elemento;  $p \circ q = q$  se  $p \sqsubset q$  ou  $p = q$
- ⊛ operar um elemento com outro estando ambos encaixados em um terceiro elemento, resulta nesse terceiro elemento;  $p \circ q = r$  se  $p \sqsubset r$  e  $q \sqsubset r$ ,

<sup>2</sup>O conceito de contigüidade é mais geral e se aplica a propriedade. Usamos o termo encaixe, que é um tipo de contigüidade, por razões didáticas. Por facilitar a compreensão da propriedade.

⊛ operar um elemento com outro com o qual não guarda nenhuma relação de encaixe resulta em indefinido;  $p \circ q = \text{indef}$ .

Para fins práticos, estas propriedades foram estabelecidas como mínimas para obtenção de uma estrutura de agrupamento.

A operação binária  $\circ : O \times O \mapsto O \cup \{\text{indef}\}$  define um valor em  $O$  se e somente se seus operandos são *contíguos*, onde  $p$  e  $q$  são contíguos se e somente se  $p \sqsubset q$ , ou  $q \sqsubset p$ , ou se existe um  $z$  tal que  $p \sqsubset z$  e  $q \sqsubset z$ . Caso contrário, o resultado da operação é indefinido e representado por *indef*.

A relação de contigüidade entre os objetos de  $C$ , e, por extensão, às operações de  $O$ , produz composições especiais que foram chamadas de *reabsorções*. Seja  $x \sqsubset y$ , então  $+x \circ +y = +y$  e  $-x \circ -y = -y$ .

A operação  $\circ$  é, além disso, idempotente, isto é,  $+x \circ +x = +x$  e  $-x \circ -x = -x$ . O elemento neutro  $0$  possui as seguintes propriedades: para todo  $x \in C$ ,  $+x \circ 0 = +x$  e  $-x \circ 0 = -x$ . Além disso,  $p \circ p^{-1} = 0$  para qualquer  $p \in C$ .

#### ⊛ Agrupamento I

Este é o primeiro sistema de classificação desenvolvido pela criança. As coisas do mundo ou 'são' ou 'não são'. Temos os 'gatos' e os 'não gatos' que se encaixam na classe super ordenada dos 'animais' os quais, por sua vez, definem os 'não animais', etc. Constrói-se, dessa forma, uma cadeia  $A \subset B \subset C \subset \dots \subset Z$  e suas complementares  $A' \subset B' \subset C' \subset \dots \subset Y' \subset Z$ . Estas classes serão chamadas de *classes simples*. O conjunto das classes simples se particiona em dois subconjuntos:

⊛ *Classes primárias*, que são as classes das coisas que 'são' e que constituem a cadeia principal de inclusões ou encaixes:  $A, B, C, \dots, Z$ .

⊛ *Classes secundárias*, que são as classes complementares que representam as coisas que 'não são':  $A', B', C', \dots, Y'$ .

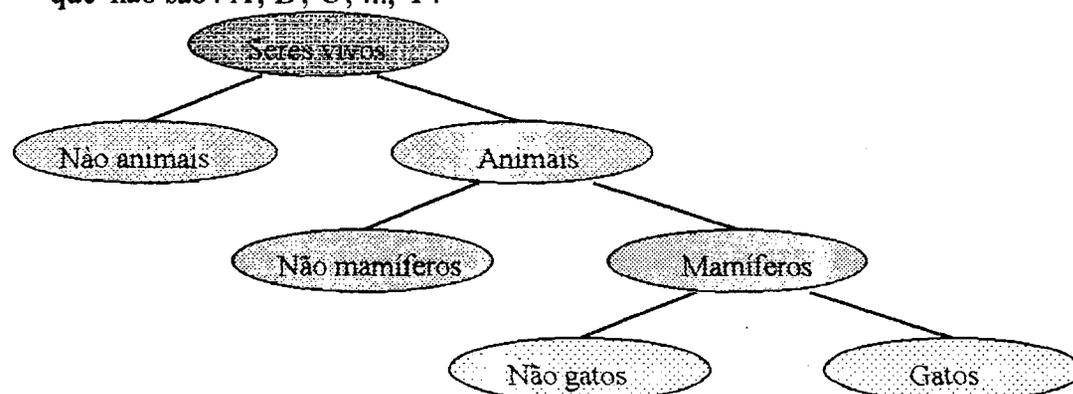


Figura 6.13 Agrupamento do tipo I

Esta estrutura de classes permite operações diretas como "adicionar os elementos da classe A":  $(+A)$ , e inversas como: "retirar os elementos da classe C":  $(-C)$ .

A relação de contigüidade entre classes simples é a inclusão imediata, ou seja,  $X \sqsubset Y$  se e somente se  $X \subset Y$  e não existe  $Z$  tal que  $X \subset Z \subset Y$ . Tais operações dão origem às seguintes composições:

⊗ Composição direta:

$$\begin{aligned} (+A) \circ (+A') &= (+B), & \text{gatos} + \text{não gatos} &= \text{mamíferos} \\ (+B) \circ (+B') &= (+C), & \text{mamíferos} + \text{não mamíferos} &= \text{animais} \\ & \text{etc} \end{aligned}$$

⊗ Composição inversa:

$$\begin{aligned} \text{acrescentar gatos e retirar mamíferos} &= \text{retirar os não gatos} \\ (+A) \circ (-B) &= (-A'), \\ \text{acrescentar mamíferos e retirar os seres vivos} &= \text{retirar os não seres vivos} \\ (+B) \circ (-C) &= (-B'), \\ & \text{etc} \end{aligned}$$

⊗ Composição neutra:

$$\begin{aligned} (+A) \circ 0 &= (+A), & \text{gatos} + \text{nada} &= \text{gatos} \\ (+B) \circ 0 &= (+B), & \text{mamíferos} + \text{nada} &= \text{mamíferos} \\ & \text{etc} \end{aligned}$$

⊗ Composição tautológica:

$$\begin{aligned} (+A) \circ (+A) &= (+A), & \text{gatos} + \text{gatos} &= \text{gatos} \\ (+B) \circ (+B) &= (+B), & \text{mamíferos} + \text{mamíferos} &= \text{mamíferos} \\ & \text{etc} \end{aligned}$$

⊗ Composição canceladora:

$$\begin{aligned} (+A) \circ (-A) &= 0, & \text{acrescentar gatos e depois retirar} &= \text{não fazer nada} \\ (+B) \circ (-B) &= 0, \\ & \text{etc} \end{aligned}$$

⊗ Composição reabsorvente:

$$\begin{aligned} (+A) \circ (+B) &= (+B), & \text{gatos} + \text{mamíferos} &= \text{mamíferos} \\ (+B) \circ (+C) &= (+C), \\ & \text{etc} \end{aligned}$$

O objeto das operações diretas e inversas é a classe simples, isto é, a classe que caracteriza um esquema de assimilação simples, e não composto.

Como as classes deste sistema são fracamente estruturadas, não se pode construir as propriedades que qualificam os elementos da classe  $A$  a partir das propriedades da classe  $B$ . Tanto  $A$  quanto  $B$  correspondem a esquemas de assimilação distintos. A existência de uma classe  $A'$ , que possui os elementos assimilados por  $B$  mas não assimilados por  $A$ , e a inexistência de uma classe  $A'$  de elementos assimilados por  $A$  mas não assimilados por  $B$ , é que garante a inclusão de  $A$  em  $B$  e a composição:  $(+A) \circ (+A') = (+B)$ .

Entretanto, esta equação não é dada a princípio. A teoria psicogenética diz que ela deve ser construída a partir de uma interação com o meio, onde os esquemas são testados e controlados por um mecanismo de regulação.

Este mecanismo de regulação, quando da passagem para um nível superior de abstração é que vai compor a equivalência (ou inclusão) observada empiricamente. Este é o processo da abstração reflexiva.

### ➤ Agrupamento II

A segunda forma de composição de classes surge quando se unem em uma árvore diversas cadeias de classes simples encaixadas. Cada nível de encaixes passa a ter mais de uma classe primária e um número correspondente de classes secundárias. As classes de nível  $A$ , por exemplo, passam a ser  $A_1, A_2$ , etc as classes secundárias serão  $A_1', A_2'$ , etc.

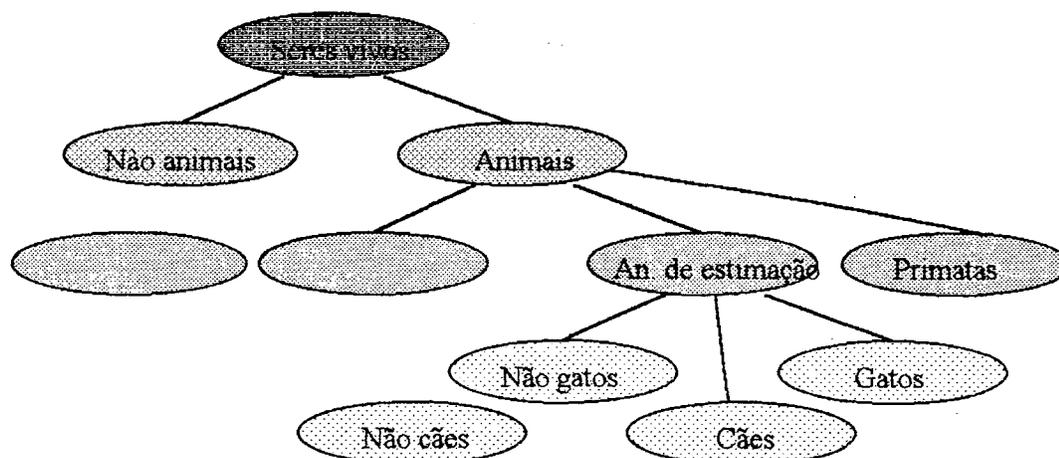


Figura 6.14 Agrupamento do tipo II

Se na estrutura do agrupamento I  $(+A') \circ (+A')$  sempre será  $(+A')$ , na estrutura do agrupamento II, o resultado pode ser  $(+B)$ , no caso de se ter  $(A_1') \circ (A_2')$ . Além disso,  $(+A) \circ (+A')$  não será necessariamente  $(+B)$  se o primeiro e o segundo  $A$ 's representarem classes diferentes. Por exemplo:  $(+A_1) \circ (+A_2') = (+A_2')$ , ou seja, se eu acrescentar o conjunto dos *cães* ao conjunto dos *não gatos*, o resultado será o conjunto dos *não gatos*.

A relação de contigüidade, neste caso, continua sendo a inclusão ou encaixe. Mas algumas modificações são introduzidas pela presença de várias classes secundárias em um mesmo nível.

Se  $X$  e  $Y$  são classes primárias, então eu digo que  $X \sqsubset Y$ ,  $X$  é considerado contíguo a  $Y$  se e somente se  $X \subset Y$ ,  $X$  estiver encaixado em  $Y$ . Não existe uma classe primária  $Z$  tal que  $X \subset Z \subset Y$ .

Se  $X$  é uma classe primária e  $Y$  é secundária, então eu digo que  $X \sqsubset Y$ , ou seja, um *gato* é contíguo de um *não cão* se e somente se existe uma classe primária  $Z$ , no caso a dos *animais de estimação* tal que  $X \sqsubset Z$  e  $Y \sqsubset Z$ .

### • Agrupamento III

No seu desenvolvimento a criança começa a combinar as coisas do mundo em estruturas mais complexas o que vai originar uma terceira estrutura operatória em que ocorre a construção de classes chamadas *multiplicativas*, formadas a partir da intersecção de outras classes. Isto equivale a uma forma bem comportada de hierarquia múltipla em sistemas de classificação. O sistema é semelhante às classificações comparativas da biologia. Nestas classificações são utilizados vários critérios diferentes ao mesmo tempo.

Seja  $(+C_1) = (+B_1) \circ (+B_1')$  e  $(+B_1) = (+A_1) \circ (+A_1')$ . A construção  $C_1 \times C_2$  resulta em um sistema com as classes  $(C_1, C_2)$ ,  $(B_1, C_2)$ ,  $(B_1', C_2)$ ,  $(A_1, C_2)$  e  $(A_1', C_2)$ . Tal sistema tem uma forma operatória aparentada ao agrupamento I, ou seja:  $+(A_1, C_2) \circ +(A_1', C_2) = +(B_1, C_2)$ . A mudança introduzida foi ao nível dos objetos operados. A nova regra de contigüidade segue imediatamente desses elementos compostos.

Como um exemplo, considere  $C_1$  a classe dos animais marinhos,  $C_2$  seriam os vertebrados,  $B_2$  os mamíferos e  $A_2$  os carnívoros; então  $+(carnívoros, marinhos) \circ +(não-carnívoros, marinhos) = +(mamíferos, marinhos)$ .

A partir daqui, os elementos operados nos agrupamentos não são mais esquemas de assimilação elementares, mas composições multiplicativas de esquemas. As operações e formas de composição são as mesmas dos agrupamentos I e II. A única mudança é relativa aos elementos operados, portanto, aos conteúdos.

Duas classes compostas são contíguas se seus elementos forem contíguas da seguinte forma:  $(X_1, X_2, \dots, X_n) \sqsubset (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$  se e somente se existe um  $X_i$  e  $Y_i$  tal que  $X_i \sqsubset Y_i$  e para os  $X_j$  e  $Y_j$  tal que  $j \neq i$ ,  $X_j = Y_j$ .

Segundo esta definição, são contíguas, por exemplo as classes:

$$(A_1, B_2) \sqsubset (A_1, C_2)$$

porque  $B_2 \sqsubset C_2$  numa estrutura de agrupamento I ou II.

### • Agrupamento IV

A quarta forma operatória de classes (agrupamento IV) consiste da composição de classes multiplicativas quaisquer, e não somente daquelas presas a uma estrutura de encaixes do tipo III, onde para todas as classes  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  os  $x_i$  são constantes exceto em uma posição pré-determinada.

A estrutura do agrupamento IV corresponde às tabelas de múltiplas entradas onde as linhas e colunas são rotuladas com classes simples de alguma estrutura de classes do tipo I ou II.

As posições no interior das tabelas correspondem às classes multiplicativas geradas pela composição das classes simples que rotulam as linhas e colunas correspondentes, segundo a figura:

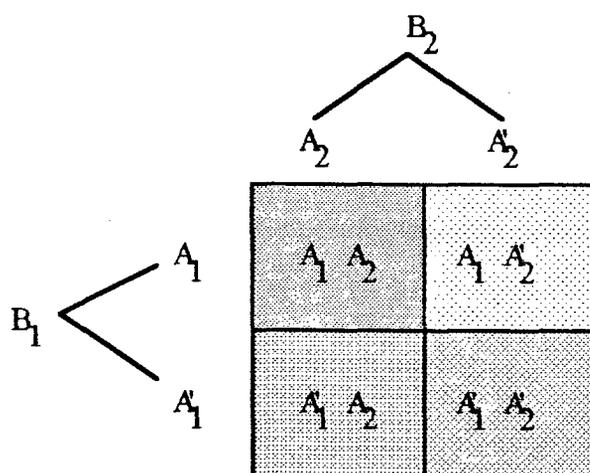


Figura 6.15 Agrupamento do tipo IV

As classes multiplicativas desta figura podem ser definidas como tabelas, e não somente como células individuais. Quanto à inclusão, as classes se relacionam da seguinte forma:

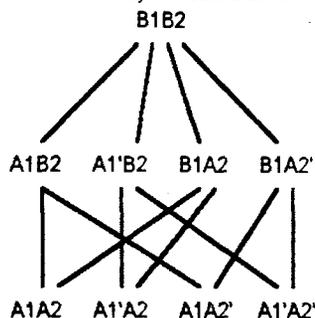


Figura 6.16 Relações de herança entre as classes do Agrupamento IV

Neste caso, diversos tipos de composição são possíveis, como, por exemplo:  $+(A_1, A_2)$   
 $\circ + (A_1, A_2') = + (A_1, B_2)$ .

A noção de contigüidade é a mesma do agrupamento III, como pode ser observado na figura acima. Nesta figura, todo par de classes unido por uma reta possui a relação de contigüidade orientada de baixo para cima. Por exemplo:

$$\begin{array}{l} A_1 A_2 \sqsubset A_1 B_2 \\ A_1 A_2 \sqsubset B_1 A_2 \end{array}$$

A diferença entre a contigüidade neste agrupamento, em relação ao anterior, é que uma classe pode estar imediatamente incluída em mais de uma classe, conforme as expressões acima.

### ☛ Agrupamento V

Da mesma forma que a criança, a partir do desenvolvimento dos esquemas simbólicos, vai categorizando as coisas do mundo, ela começa também a estabelecer correlações entre essas coisas. Além dos agrupamentos de classes, portanto, existem quatro agrupamentos de relacionamentos que são gradativamente construídos: o das relações assimétricas, o das relações simétricas, o das relações de um a muitos, ou co-unívocas, e o das relações de um para um, ou biunívocas. O agrupamento V tem seu conjunto  $C$  composto por relacionamentos de diferença assimétrica que podem ser estabelecidos entre dois objetos. Por exemplo, " $x$  é maior do que  $y$ ", constitui um relacionamento assimétrico entre  $x$  e  $y$ .

Sejam  $A, B, C, D$ , etc, objetos comparáveis por algum critério, como por exemplo, peso crescente. Tomando uma estrutura de seriação do tipo  $A < B < C < D < \dots$ . Pode-se identificar cada um dos relacionamentos individuais por nomes como:

$$A \xrightarrow{a} B \xrightarrow{a'} C \xrightarrow{b'} D \xrightarrow{c'} \dots$$

Assim, as composições do agrupamento V consistem nas operações  $+(\xrightarrow{a})$ ,  $-(\xrightarrow{a'})$ ,  $+(\xrightarrow{b'})$ , etc, que correspondem aos relacionamentos elementares (indecomponíveis) entre objetos.

Outros relacionamentos podem ser obtidos por composições semelhantes às do agrupamento I. Só que agora os objetos operados não são mais classes, e sim relacionamentos.

$$\begin{array}{l} \text{Diferença entre } A \text{ e } C: +(\xrightarrow{a}) \circ +(\xrightarrow{a'}) = +(\xrightarrow{b}) \\ \text{Diferença entre } A \text{ e } D: +(\xrightarrow{b}) \circ +(\xrightarrow{b'}) = +(\xrightarrow{c}) \\ \text{etc} \end{array}$$

Dois relacionamentos são contíguos se possuírem pelo menos um objeto em comum. Ou seja, para compor os relacionamentos  $(x \longrightarrow y)$  e  $(z \longrightarrow w)$ , deve-se ter  $x=z$ ,  $y=z$ ,  $x=w$  ou  $y=w$ . Portanto:

$$(x \longrightarrow y) \sqsubset (z \longrightarrow w), \text{ se e somente se } x=z, y=z, x=w \text{ ou } y=w.$$

### ☛ Agrupamento VI

Se os objetos compostos forem relacionamentos simétricos, então as formas de composição correspondem às do agrupamento II. Por exemplo  $+(\longleftarrow^{a'} \longrightarrow) \circ +(\longleftarrow^{a'} \longrightarrow) = +(\longleftarrow^b \longrightarrow)$ .

As relações simétricas correspondem às relações de co-pertinência de elementos a uma classe fracamente estruturada. Assim, à classe  $A_I$  corresponde uma relação de co-pertinência denotada por  $\longleftarrow^{a_1} \longrightarrow$ , e assim por diante.

Quando as relações de co-pertinência são generalizadas em formas como, por exemplo,  $(x \longleftarrow^a \longrightarrow y)$  ou  $(x \longleftarrow^b \longrightarrow y)$ , significando que  $x$  e  $y$  pertencem a uma mesma espécie ou gênero biológico respectivamente, então pode-se falar em relações como  $(x \longleftarrow^{\bar{a}} \longrightarrow z)$ , significando que  $x$  e  $z$  não pertencem à mesma espécie. Estas relações são denominadas equivalências negativas, enquanto que as primeiras são denominadas de equivalências positivas.

Pode-se denotar a operação direta como a adição de uma equivalência positiva e a inversa como a adição de uma equivalência negativa ou uma subtração de equivalência positivo. Então, as equivalências positivas e negativas podem ser compostas operatoriamente resultando, em alguns casos, em relações especiais (secundárias) chamadas alteridades. Por exemplo:

$$+(\longleftarrow^b \longrightarrow) \circ -(\longleftarrow^a \longrightarrow) = +(\longleftarrow^{a'} \longrightarrow)$$

A equação acima define uma alteridade  $a'$  que é resultado da composição das relações  $b = \text{"pertence ao mesmo gênero"}$  e  $a = \text{"não pertence à mesma espécie"}$ . Portanto, os elementos que se relacionam por  $a'$  são aqueles que estão em um mesmo gênero mas em espécies diferentes. A contigüidade no agrupamento VI é isomorfa à dos agrupamentos I e II da seguinte forma: se  $X$  e  $Y$  são classes contíguas então as relações simétricas  $\longleftarrow^x \longrightarrow$  e  $\longleftarrow^y \longrightarrow$ , que qualificam as classes  $X$  e  $Y$ , respectivamente, também são contíguas.

### ☛ Agrupamento VII

O conjunto  $C$  do agrupamento VII consiste de relações co-unívocas. Essas relações, também são chamadas *relações de um para muitos*, ou *relações de muitos para um*. Exemplos deste tipo de relações são as filiações nas árvores genealógicas. Ou seja, um pai pode ter vários filhos, mas um filho só pode ter um pai.

O relacionamento entre dois indivíduos, no seio de uma relação co-unívoca, é sempre assimétrico. Em muitos casos, porém, é desejável que se possa expressá-lo como uma composição de um relacionamento assimétrico e um simétrico. Considere a estrutura correspondente a figura 6.17:

A relação *pai* (conjunto de relacionamentos desta árvore) é co-unívocas, porque é de um pai para muitos filhos. Inicialmente os relacionamentos em jogo são assimétricos. Pode-se, em seguida, inverter a relação *pai*, obtendo a relação *filho*:

$$\xrightarrow{\text{filho}} = \xrightarrow{\text{pai}^{-1}} = \xleftarrow{\text{pai}}$$

A composição de um relacionamento assimétrico por seu inverso resulta num relacionamento simétrico. Por exemplo:

$$+(\text{Tiago} \xrightarrow{\text{filho}} \text{João}) \circ +(\text{João} \xrightarrow{\text{pai}} \text{Cícero}) = +(\text{Tiago} \xleftarrow{\text{filhoDoMesmoPai}} \text{Cícero})$$

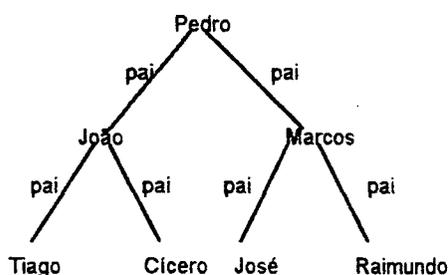


Figura 6.17 Relações assimétricas do Agrupamento VII

Algumas composições podem resultar na relação de identidade, como por exemplo:

$$+(\text{Tiago} \xrightarrow{\text{filho}} \text{João}) \circ +(\text{João} \xrightarrow{\text{pai}} \text{Tiago}) = +(\text{Tiago} \xleftarrow{=} \text{Tiago})$$

A relação "=" indica que *Tiago* é o mesmo indivíduo que *Tiago*. A relação "irmão" pode ser definida, então, como "filho do mesmo pai, mas não idêntico". Esta relação corresponde a uma alteridade, como as definidas no agrupamento VI. Fazendo-se intervir as alteridade oriundas da composição da relação "pai" por sua inversa (excluídas as identidades), tem-se uma estrutura como:

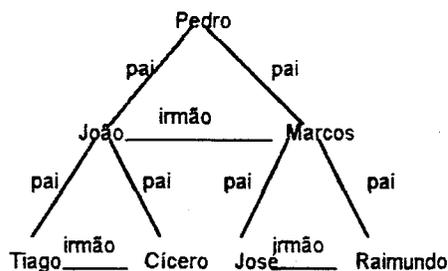


Figura 6.18 Relações assimétricas e simétricas do Agrupamento VII

As relações assimétricas elementares também podem ser compostas entre si, como por exemplo:  $+(Pedro \xrightarrow{pai} João) \circ +(João \xrightarrow{pai} Tiago) = +(Pedro \xrightarrow{avô} Tiago)$ .

A relação "avô" pode ser composta com sua inversa "neto". O resultado corresponde à relação simétrica "neto do mesmo avô". Para obter a alteridade "primo", deve-se subtrair da relação "neto do mesmo avô" a relação "filho do mesmo pai".

Finalmente, os relacionamentos simétricos e assimétricos podem ser compostos entre si, gerando os relacionamentos co-unívocos genéricos como:  $+(Marcos \xleftarrow{irmão} João) \circ +(João \xrightarrow{pai} Maria) = +(Marcos \xrightarrow{tio} Maria)$ .

As composições de relacionamentos assimétricos podem ser denotadas por seu grau, ou seja:

$$\begin{aligned} pai \text{ do } pai &= avô \text{ ou } pai^2 \\ pai \text{ do } avô &= bisavô \text{ ou } pai^3 \\ &\text{etc.} \end{aligned}$$

Da mesma forma, os relacionamentos simétricos podem ser compostos como no agrupamento VI, obtendo-se assim, além da relação irmão as relações de primos em seus diversos graus. A identidade  $x \xleftarrow{=} x$  seria a relação simétrica de grau zero.

Mas nem todas as relações de parentesco tem um nome definido (por exemplo, "primo do avô", etc). Pode-se, então, optar por denotar os relacionamentos de parentesco através da própria composição simétrica/assimétrica ou vice-versa, dependendo do caso. Assim, a relação "tio" pode ser denotada por elementos como:

$$(Marcos \xleftarrow{irmão} \downarrow_{pai} Maria)$$

Outras relações poderiam ser definidas, nas quais a componente assimétrica precede a simétrica. Por exemplo:

$$(Pedro \downarrow_{avô} \xleftarrow{irmão} Sônia)$$

As relações assimétricas "puras" podem ser representadas por uma composição entre a assimétrica e a identidade. Para afirmar que João é pai de Helena usando uma forma co-unívocas como as acima pode-se fazer:

$$(João \downarrow_{pai} \xleftarrow{=} Helena)$$

As composições de relacionamentos co-unívocos seguem regras complexas. A contigüidade é semelhante à definição dos agrupamentos V e VI, ou seja, dois relacionamentos são contíguos se possuem elementos em comum.

### ➤ Agrupamento VIII

O agrupamento VIII trata da seriação das relações simétricas ou assimétricas. Sua estrutura operatória é semelhante à do agrupamento V, mas os objetos operados não são objetos simples, mas relações. Como exemplo de seriação de relações simétricas considere uma criança que desenha numa folha um conjunto de bastões, que ela vê, ordenados segundo seu tamanho. A criança faz corresponder a cada bastão real, um bastão desenhado.

Como o desenho é feito em escala, a relação imediata entre os bastões cada vez maiores é que é copiada. Se a relação entre um bastão real e um bastão desenhado é de equivalência, e portanto, simétrica, então a atividade de desenhar estes bastões envolve uma seriação de relacionamentos simétricos. Seja  $R_1, R_2, \dots, R_n$  o conjunto de bastões reais e  $D_1, D_2, \dots, D_n$  o conjunto de bastões desenhados. Há um relacionamento simétrico entre cada  $R_i$  e  $D_i$ . Estes relacionamentos são seriados por:

$$\begin{array}{c} R_1 \\ \updownarrow \\ D_1 \end{array} \xrightarrow{a} \begin{array}{c} R_2 \\ \updownarrow \\ D_2 \end{array} \xrightarrow{a'} \dots \xrightarrow{x'} \begin{array}{c} R_n \\ \updownarrow \\ D_n \end{array}$$

Pode-se ver claramente que os objetos seriados são os relacionamentos simétricos e não mais os objetos, embora a seriação dos objetos exista independentemente para cada conjunto, mas seguindo então as regras do agrupamento V. Há, pois, uma diferença de grau entre as operações do agrupamento V e do agrupamento VIII. Já que estas últimas são definidas sobre objetos de mais alta ordem. A seriação das relações assimétricas leva à construção das tabelas de dupla entrada onde os relacionamentos entre pares de objetos ocupam o interior da tabela.

Seja um conjunto de objetos seriados segundo o seu peso, formando classes de equivalência da seguinte forma:

$$A_1 \leq B_1 \leq C_1 \leq \dots \leq Z_1$$

Cada uma das classes  $X$  pode conter uma quantidade qualquer de objetos cujo peso é tão semelhante que o sujeito não consegue diferenciar. É possível definir um outro critério de seriação no interior de cada uma destas classes, como por exemplo, a altura. Neste caso, cada classe será novamente seriada formando subclasses de equivalência, nas quais os membros tem o mesmo peso e a mesma altura. Mas o critério de seriação pela altura é independente da seriação por peso. A seriação pela altura poderia dividir todo o conjunto dos objetos em classes  $A_2, B_2, \dots, Z_2$ . Esta ortogonalidade permite que se construa uma tabela como a seguinte:

		Peso Crescente $\longrightarrow$				
		A1	B1	C1	...	Z1
Altura Crescente $\downarrow$	A2	A1A2	B1A2	C1A2	...	Z1A2
	B2	A1B2	B1B2	C1B2	...	Z1B2
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	Z2	A1Z2	B1Z2	C1Z2	...	Z1Z2

Figura 6.19 Seriação dos relacionamentos assimétricos

Esta tabela constitui a mesma estrutura da tabela de dupla entrada do agrupamento IV. Mas aqui, as classes são semi-estruturadas.

São as relações entre as classes, portanto, que estão em jogo. Se a diferença entre  $A_1$  e  $B_1$  é  $\xrightarrow{a_1}$  e a diferença entre  $A_2$  e  $B_2$  é  $\xrightarrow{a_2}$ . Então a diferença composta entre o elemento  $A_1B_1$  e o elemento  $A_2B_2$  é  $\xrightarrow{a_1a_2}$ . Generalizando esta idéia para todas as diferenças presentes na tabela tem-se a tabela de dupla entrada das relações de diferença entre as classes compostas:

	a1	a1'	b1'	c1'	...	z1'
a2	a1a2	a1'a2	b1'a2	c1'a2	...	z1'a2
a2'	a1a2'	a1'a2'	b1'a2'	c1'a2'	...	z1'a2'
b2'	a1b2'	a1'b2'	b1'b2'	c1'b2'	...	z1'b2'
c2'	a1c2'	a1'c2'	b1'c2'	c1'c2'	...	z1'c2'
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
z2'	a1z2'	a1'z2'	b1'z2'	c1'z2'	...	z1'z2'

Figura 6.20 Tabela de dupla entrada do Agrupamento VIII

Se cada coluna da tabela for vista como uma seriação particular, então a tabela como um todo consiste de uma seriação de seriações. O mesmo raciocínio é válido em relação às linhas da tabela. Assim, as construções do agrupamento VIII consistem em seriar as relações simétricas ou assimétricas, constituindo as relações biunívocas no primeiro caso e as seriações múltiplas no segundo caso.

As composições entre as operações deste agrupamento são semelhantes, na forma, às composições das operações do agrupamento IV, havendo assim simetria perfeita entre estes dois agrupamentos. O critério de contigüidade é o mesmo dos agrupamentos de relações precedentes.

### 6.5.3 Conclusões

Devido à variedade de suas composições e sua estrutura operatória a estrutura de agrupamento tem uma grande potencialidade de aplicação em sistemas de inteligência artificial, especialmente aqueles que tratam noções operatórias do pensamento natural como classificação e relacionamento. O raciocínio temporal combina conceitos de tempo, seqüência, etc. O raciocínio relacional combina conceitos de "maior", "menor" e "equivalente".

Os dois tipos de raciocínio possuem uma forma operatória comum, que é representada pela forma geral do agrupamento. As diversas variantes do agrupamento correspondem aos conteúdos específicos dos diversos tipos de classificação e relacionamento.

### 6.6 Lógicas Modais

Definimos conhecimento (4.1) como a totalidade de tudo aquilo que tenha sido percebido, raciocinado ou experimentado. Conceber é a atividade mental mediante a qual resultam conceitos ou idéias que têm por base os estímulos percebidos, os quais determinam os conceitos de entender e de compreender, que culminam, no processo cognitivo, no conceito de saber.

Platão, no diálogo 'Theeteto', concorda com Protágoras em que '*os sentidos, e com eles as qualidades que captam das coisas, têm somente valor subjetivo, porque cada sujeito os percebe de maneira diferente*'. O conhecimento é definido, nos círculos socráticos, como a '*crença verdadeira acrescentada de uma boa argumentação ou justificativa*'. De certa forma a filosofia grega antecipa o momento atual da ciência em que esta se vê diante da necessidade de mudar de um paradigma que perseguia uma verdade que não existe e que talvez, como gostaria Popper, nem possa ser alcançada num processo infinitamente assintótico por uma nova ciência focada na coerência entre teorias, teorias e dados reais, etc.

A Lógica Epistêmica investiga as funções da mente associadas ao problema do conhecimento, investigando as leis pelas quais se define o que conhecemos e como conhecemos. Como em toda a Lógica Modal estende-se a lógica clássica pela inclusão de operadores modais. Traduzindo a definição socrática para o conhecimento em uma expressão lógica temos:

$$\text{Conhecer}(\text{Agente}, \text{Fato}) \equiv \text{Fato} \wedge \text{Acredita}(\text{Agente}, \text{Fato}) \wedge \text{Justifica}(\text{Agente}, \text{Fato})$$

Um agente saber ou conhecer um fato é equivalente a que esse fato é verdadeiro, que o agente acredita nisso e possui uma sólida argumentação para defender o seu ponto de vista. Da forma como está colocada a definição observa-se, do ponto de vista lógico, uma redundância que pode ser derivada das consequências lógicas da equação acima, ou seja:

$$\begin{aligned} & \text{Conhecer}(\text{Agente}, \text{Fato}) \rightarrow \text{Fato} \\ & \text{Conhecer}(\text{Agente}, \text{Fato}) \rightarrow \text{Acredita}(\text{Agente}, \text{Fato}) \\ & \text{Conhecer}(\text{Agente}, \text{Fato}) \rightarrow \text{Justifica}(\text{Agente}, \text{Fato}) \end{aligned}$$

Para estabelecer a verdade de um fato essas três condições teriam que ser satisfeitas. Isso nos levaria a uma eterna busca de novas evidências. Outras questões levantada pela definição referem-se à impossibilidade de se conhecer aquilo em que não acreditamos e a necessidade de se justificar tudo o que se conhece. As críticas à lógica epistêmica concentram-se nesses pontos.

Um problema famoso onde se questiona se a crença é conhecimento verdadeiro pode ser colocado sob a forma do seguinte teorema lógico:

Dados:

$$\begin{aligned} & \text{Fato 1} \wedge \text{Acredita}(\text{Agente}, \text{Fato 1}) \wedge \text{Justifica}(\text{Agente}, \text{Fato 1}) \\ & \text{Conhece}(\text{Agente}, \text{Fato 1} \rightarrow \text{Fato 2}) \end{aligned}$$

Prove

$$\text{Fato 2}$$

Demonstração:

$$\text{Fato 1} \rightarrow \text{Fato 2}$$

$$\text{Fato 2}$$

$$\text{Conhece}(\text{Agente}, \text{Fato 1} \rightarrow \text{Fato 2}) \rightarrow \text{Acredita}(\text{Agente}, \text{Fato 1} \rightarrow \text{Fato 2})$$

$$\text{Acredita}(\text{Agente}, \text{Fato 1} \rightarrow \text{Fato 2})$$

$$\text{Acredita}(\text{Agente}, \text{Fato 2})$$

$$\text{Conhece}(\text{Agente}, \text{Fato 1} \rightarrow \text{Fato 2}) \rightarrow \text{Justifica}(\text{Agente}, \text{Fato 1} \rightarrow \text{Fato 2})$$

$$\text{Justifica}(\text{Agente}, \text{Fato 1} \rightarrow \text{Fato 2})$$

$$\text{Justifica}(\text{Agente}, \text{Fato 2})$$

$$\text{Fato 2} \wedge \text{Acredita}(\text{Agente}, \text{Fato 2}) \wedge \text{Justifica}(\text{Agente}, \text{Fato 2})$$

Um dos problemas da lógica epistêmica para modelar, por exemplo, a fase em que a criança, por um processo puramente assimilatório, vai acumulando esquemas que, muitas vezes, são contraditórios, é que a mesma, como se requer de toda a boa lógica é consistente, ou seja  $\text{Conhece}(\text{Agente}, \text{Fato}) \rightarrow \text{Não Conhece}(\text{Agente}, \text{Negação desse fato})$ . Pode-se argumentar que, nesse caso, não há ainda conhecimento, posto que a criança ainda não dominou a capacidade de justificar as suas crenças. Observe que se o requisito de verdade garante a consistência, posto que o conjunto dos fatos sabidos será sempre um subconjunto dos fatos verdadeiros, permite que o agente acredite em dois fatos contraditórios.

Se quisermos modelar seres dedutivamente omniscientes, ou seja, seres que sabem todas as consequências logicamente dedutíveis daquilo que sabem, os seguintes princípios devem ser admitidos como válidos:

$$\text{Conhece (Agente, Fato } 1 \rightarrow \text{Fato } 2) \rightarrow (\text{Conhece (Agente, Fato } 1) \rightarrow \text{Conhece (Agente, Fato } 2)) \\ (\text{Fato } 1 \rightarrow \text{Fato } 2) \rightarrow (\text{Conhece (Agente, Fato } 1) \rightarrow \text{Conhece (Agente, Fato } 2))$$

O primeiro princípio expressa uma omnisciência no sentido fraco enquanto o segundo expressa-a em sentido forte ou restrito. O problema epistemológico é reflexivo. Como eu sei que sei ou que não sei alguma coisa? E quanto aquele saber inconsciente postulado pela psicologia? É o método da introspecção cientificamente válido? Essas são questões investigadas pela lógica epistêmica e que nos interessam, na medida em que tentamos construir máquinas capazes de construir esses conhecimentos.

Estas lógicas são muito úteis, por exemplo, quando se tenta modelar bases de conhecimento sendo operadas através de sistemas computacionais distribuídos. Os sistemas de axiomas epistêmicos que vemos a seguir, desenvolvidos a partir da lógica clássica, modelam o conhecimento de uma forma estática. Não é a gênese ou o processo de construção que está em foco.

Sejam um conjunto de proposições primitivas,  $\Phi = (p, q, r, \dots)$  e um conjunto de  $m$  agentes.  $\mathcal{L}_m\Phi$  é definido como o menor conjunto de fórmulas que contém  $\Phi$  e é fechado em relação às operações conjunção ( $\wedge$ ) e negação ( $\sim$ ). Sejam, ainda, os operadores modais  $K_1, K_2, K_3, \dots, K_m$ .

*"Junto com um verdadeiro estado de fatos, há um número de outros estados possíveis de fatos ou mundos possíveis. Alguns destes mundos possíveis podem ser indistinguíveis para alguns dos agentes do mundo real. Neste caso, diz-se que um agente sabe um fato  $p$  se  $p$  é verdade em todos os mundos que o agente concebe como possível"* (definição de conhecimento segundo Kripke; Halpern, 1985)

As estruturas ou mundos de Kripke tem a forma:  $M = (S, \Phi, P_1, P_2, P_3, \dots, P_m)$ , em que  $S$  é o conjunto de estados;  $\Pi(S, p)$  é uma função que mapeia um par  $s \in S, p \in \Phi$ , em verdadeiro ou falso;  $P_i$  é uma relação binária definida sobre o conjunto de estados de  $S$  que captura as relações possíveis para o agente  $i$ , ou seja,  $(s, t) \in P_i$  se no mundo  $(M, s)$  o agente considera  $(M, t)$  como um mundo possível, ou ainda, quando se pode conceber  $(M, t)$  a partir de  $(M, s)$ . Define-se:

$$(M, s) \vDash p, \text{ ou seja, } p \text{ é verdade} \Leftrightarrow \Pi(s, p) = V$$

$$(M, s) \vDash p \wedge q \Leftrightarrow (M, s) \vDash p \text{ e } (M, s) \vDash q$$

$$(M, s) \vDash K_i p \Leftrightarrow (M, t) \vDash p \text{ para todo } (s, t) \in P_i$$

Existem diversos sistemas axiomáticos propostos para o conhecimento. O mais simples de todos é o denominado  $K_m$ , o qual é correto e completo em relação à semântica definida nos mundos de Kripke (Halpern, 1985) e que se compõe de dois axiomas e duas regras de inferência, a saber:

Axioma 1: Todas as tautologias do cálculo proposicional  
 Axioma 2:  $[K_i p \wedge K_i(p \rightarrow q)] \rightarrow K_i q$  (omnisciência fraca)

Regra 1:  $p$  e  $p \rightarrow q$ , então  $q$  (modus ponem)  
 Regra 2:  $p$  infere  $K_i p$  (generalização)

O sistema T acrescenta um terceiro axioma; correspondente ao requisito de verdade:  $K_i p \rightarrow p$ . O sistema S4 inclui outro axioma referente à introspecção positiva  $K_i p \rightarrow K_i K_i p$ . O sistema S5 inclui um quinto axioma referente à introspecção negativa  $\sim K_i p \rightarrow K_i \sim K_i p$ .

Halpern e Moses (1985) formalizaram, ainda, os conceitos de conhecimento comum e conhecimento implícito pela inclusão de três novos operadores:  $T_p$ : "Todo mundo conhece  $p$ ",  $C_p$ : " $p$  é conhecimento comum" e  $I_p$ : " $p$  é um conhecimento implícito".

### 6.6.1 Conclusão

A lógica epistêmica modal pode modelar o relacionamento de diversos agentes durante o processo de construção do conhecimento. Outros operadores temporais devem ser acrescentados se quisermos modelar todo o processo genético do conhecimento. A partir de um banco de conhecimentos definido pelo inatismo, a convivência com outros agentes acrescenta novos fatos a esse banco de conhecimentos através do mecanismo de equilíbrios piagetiano.

As lógicas modais permitem, ainda, modelar as crenças que um determinado indivíduo possui permitindo deduzir, daí, as alterações de comportamento decorrentes e as consequências dessas alterações nos outros agentes com os quais interage.

## CAPÍTULO SÉTIMO

### Ferramentas a serem empregadas na modelagem da equilibração das estruturas cognitivas - Técnicas de Caos

#### 7.1 Teoria do Caos

##### 7.1.1 Holismo e Geometria

###### 7.1.1.1 Partes e Todos

O conceito de 'infinito' sempre intrigou a mente humana. Não somos capazes de conceber um universo finito posto que logo nos perguntamos sobre o que existirá além da porta que lhe defina um limite e, ao mesmo tempo, não somos capazes de entender algo que nos transcenda, que esteja além de toda a medida. No entanto, não é só quando nos deparamos com grandezas enormes que o conceito de infinito vem esbarrar em nossas limitações perceptivas. Para onde quer que nos voltemos, seja para o infinitamente pequeno, seja para o infinitamente grande, lá está a Esfinge a nos pedir que a decifremos.

George Ferdinand Ludwig Philipp Cantor nasceu em 03 de março de 1845 em São Petersburg, na Rússia. Foi ele o introdutor da Moderna Teoria dos Conjuntos, fundamento da matemática contemporânea. Cantor definiu que "dois conjuntos são equivalentes se existir uma correspondência um a um entre seus membros". Galileu já havia apontado que, se 'Conjuntos Infinitos' fossem algum dia aceitos pela matemática, aquele formado pelos números naturais teria a mesma quantidade de elementos que o formado pelos números pares, visto podermos associar, a cada número par, o inteiro que corresponde a sua metade; se não vejamos:

$$\begin{array}{r} \text{Pares} = \{2, 4, 6, 8, 10, \dots\} \\ \quad \quad \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \\ \text{Naturais} = \{1, 2, 3, 4, 5, \dots\} \end{array}$$

Cantor mostrou que a propriedade que, para Galileu, era um paradoxo, era, na verdade, uma propriedade natural de Conjuntos Infinitos. "Uma classe infinita é aquela para a qual nós poderíamos estabelecer uma correspondência biunívoca com qualquer subconjunto dela mesmo". A esses conjuntos infinitos que podem ser contados, utilizando-se os números naturais, Cantor atribuiu a cardinalidade Aleph zero. Provou, ainda, que era impossível estabelecer uma correspondência biunívoca entre os números naturais (0, 1, 2, 3, 4, ...) e os números reais (0, ..., 0,00112; ..., 98,97123; ...). A esses conjuntos não enumeráveis, atribuiu a cardinalidade Aleph um. Da mesma forma, poder-se-ia definir conjuntos de cardinalidade superior.

Uma das descobertas mais fascinantes de Cantor "Eu estou vendo, mas não consigo acreditar naquilo que vejo" é a de que, contrariamente a opinião dominante da matemática de então, era possível estabelecer uma correspondência um a um entre os pontos do plano e os pontos da linha reta. Se imaginarmos um Universo multi- dimensional, mesmo assim, esse não teria mais pontos do que o nosso humilde segmento de reta.

Observemos a figura abaixo;

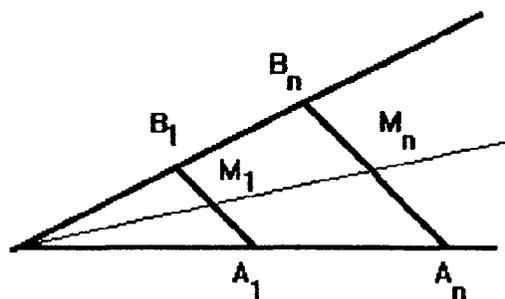


Figura 7.1 A corda do violão e o universo

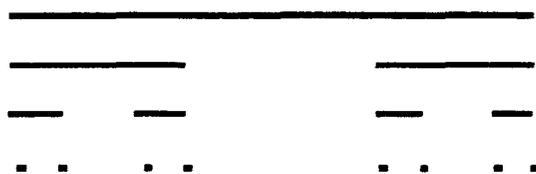
A cada ponto  $M_1$  do segmento  $A_1 B_1$ , corresponde o ponto  $M_2$  do segmento  $A_2 B_2$  aos quais nós podemos associar um número real  $M$ . Sem nos estendermos pode-se mostrar que a Cardinalidade das Classes associadas aos segmentos  $A_1 B_1$ ,  $A_2 B_2$ ,  $A_n B_n$ , é a mesma.

Outra construção mais elaborada poderia demonstrar algo ainda mais fantástico. Na nossa corda de violão, que fazemos vibrar, transformando sentimentos em sons, existem o mesmo número de pontos adimensionais que os que constituem os Universos com seus aglomerados estelares, suas galáxias, sóis e planetas. Em um segmento de reta, por menor que ele seja, existem tantos pontos quanto o total de pontos contido no universo.

Aleph zero, Aleph um, etc. são chamados de números transfinitos por estarem além do finito. Para concebermos o Aleph dois poderíamos conjecturar que as 'dimensões' não seriam contáveis (1,2,3, ...), mas que seriam, também, não enumeráveis (1, ...,  $3 \frac{1}{2}$ , ...). Seria um belo trabalho matemático tentar demonstrar que, nesse caso, não se poderia estabelecer uma correlação entre um fio de cabelo e um universo fractal de dimensão contínua. Para concebermos o Aleph N, bem, é melhor pararmos por aí. Afinal, Cantor morreu louco.

#### 7.1.1.2 A Poeira de Cantor e o Fim do Universo

Imaginemos um segmento de reta. Eliminemos o terço médio. Desta forma ficamos, agora, com dois segmentos de reta como mostrado na figura:



*Figura 7.2 A Poeira de Cantor e o fim do Universo*

Se repetirmos, com cada uma das retas resultantes, a mesma operação, chegaremos a uma construção conhecida como Poeira de Cantor; um número infinito de pontos, de dimensão zero, infinitamente dispersos.

Esta construção, puramente abstrata, é considerada, hoje, indispensável na modelagem de fenômenos intermitentes como, por exemplo, a transmissão de sinais onde, qualquer que seja a escala de tempo que imaginemos, encontraremos períodos de transmissão livres de erros, misturados com períodos de transmissão nos quais os erros ocorrem em séries. O Universo em que vivemos, se continuar a se expandir indefinidamente, poderá ser representado como poeira de estrelas perdida na imensidão.

As reações às idéias de Cantor foram 'terríveis'. Henri Poincaré, um dos pais da teoria do caos, condenou a 'teoria dos números transfinitos' como uma doença da qual, algum dia, a matemática iria ficar curada. Leopold Kroenecker, da escola "Construtivista", professor de Cantor, condenou o matemático, chamando-o de 'charlatão', 'renegado' e 'corruptor da juventude'. "DEUS criou os inteiros, tudo o mais é invenção dos homens".

Tanto a Escola Formalista, para a qual a matemática é um jogo sem nenhum sentido mas 'delicioso de ser jogado'; como a Escola Lógica, que defende que a matemática é um ramo da Lógica, consideram a Teoria do Transfinito, como exposta por Cantor, 'auto consistente'. Ora, os conjuntos são estruturas abstratas. Seus elementos podem ser números, objetos, conceitos ou o que quer que imaginemos.

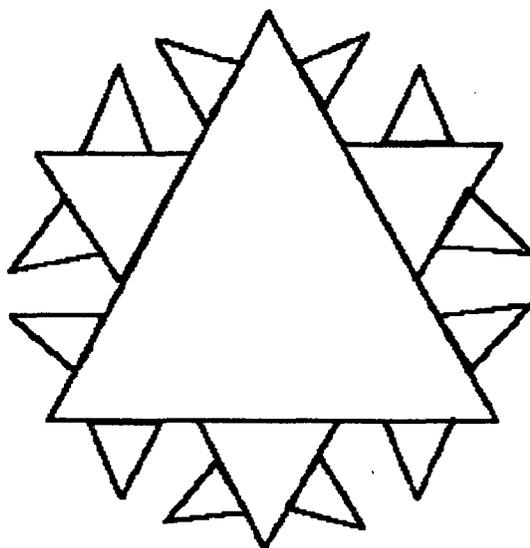
### 7.1.1.3 Novas Geometrias

Mas vamos prosseguir em nossa busca pelos Alephs.. O conceito que pretendemos introduzir, agora, é de suma importância para a compreensão dos fenômenos ditos complexos, dentre os quais, o de simulação de entidades autopoieticas..

Quando olhamos, de longe, a forma escarpada de uma montanha, não temos dúvida em definir uma dimensão euclidiana de dois. Quando nos aproximamos, no entanto, caminhando por alguma trilha, com superfícies de rocha se projetando sobre nós, quase que ocupando um espaço tridimensional, somos compelidos a duvidar de nossa definição inicial.

Benoit Mandelbrot, um matemático de nosso século, a partir da Poeira de Cantor, reformulou, criando a Geometria dos Fractais, o conceito que tínhamos quanto ao que fossem as dimensões. Esta nova forma de descrever a natureza vem sendo utilizada pelos cientistas, que começam a descobrir uma certa 'ordem' por detrás de alguns fenômenos, antes julgados como pertencentes ao Caos. Com uma frequência surpreendente, o grau de irregularidade permanece constante em diferentes escalas.

Um exemplo clássico de fractal é a curva de Koch, que se obtém a partir de uma forma simples, um triângulo equilátero, e de uma regra de construção específica que deve ser repetida indefinidamente, a qual consiste em construir um novo triângulo equilátero com  $1/3$  da dimensão original, sobre cada um dos lados dos triângulos resultantes da operação anterior.



*Figura 7.3 A curva de Koch*

Embora todo o contorno caiba dentro do círculo que circunscribe o triângulo gerador, a curva de Koch é, em si, infinitamente longa. O fato de se ter uma extensão infinita dentro de um espaço finito, é um paradoxo que desafia nossa intuição e bom senso. Usando-se de formalismos matemáticos, chega-se, para a curva de Koch, a uma dimensão fractal de 1,2618. A nossa escarpa de montanha, com sua vegetação rasteira e suas temíveis serpentes, corresponderia a uma dimensão fractal da ordem de 2,7.

Talvez que o ADN não especifique o vasto universo das diferentes redes que se entremeiam pelo corpo conduzindo o sangue, o ar e as sensações; mas tão somente uma forma geradora e regras específicas de construção. Talvez que os tão buscados esquemas sejam estruturas fractais capazes de se estender sobre o universo dos reais estimulados por regras que traduzem o mecanismo de equilíbrio/desequilíbrio que pretendemos modelar. A idéia de uma modelagem geométrica para os esquemas piagetianos é fascinante.

## 7.1.2 Sistemas Complexos

### 7.1.2.1 Introdução

A estratégia que se adota normalmente diante da complexidade é a mesma que era adotada já no século XVIII, quando acreditava-se que seria possível prever o comportamento de sistemas complexos através de um processo de análise que consiste, primeiramente, em se dividir um sistema grande em várias partes pequenas. Identificadas cada uma das partes e compreendido o funcionamento das mesmas, assumia-se que o sistema se comportava de modo linear (ou se buscava alguma região de funcionamento onde tal pressuposto fosse válido). Bastaria, nesse caso, se superpor os efeitos individuais para modelar o sistema como um todo.

No século XIX, Sadi Carnot e outros verificaram a impraticabilidade de adotar o método imaginado por Newton e seus contemporâneos posto que a maioria dos sistemas físicos eram compostos por milhões e milhões de partes. A solução do impasse poderia ser levantada pelo uso dos processos estocásticos. Seria possível se prever estatisticamente o comportamento de tais sistemas, pelo menos se as partes fossem idênticas e as interações entre elas fossem fracas. Essas previsões estatísticas se tornaram nas leis da termodinâmica.

No caso de sistemas não lineares uma técnica largamente empregada estava associada à Teoria das Perturbações. Ao resultado proporcionado pela 'soma das partes' se fazia um tratamento adicional que consistiria em inserir pequenas modificações. Esta estratégia não funciona bem em sistemas cujo comportamento é muito diferente daquele que se obtém pela técnica das superposições. As perturbações só fornecem uma aproximação para pequenas variações.

Sistemas cujo comportamento não pode ser considerado como mera perturbação da simples soma das partes são denominados de sistemas complexos.

Foi Henri Poincaré, o mesmo que condenou os alephs de Cantor, o primeiro a perceber que um sistema composto de poucas partes que interagisse fortemente teria um comportamento impossível de ser predito. Foi Poincaré portanto, e seus discípulos, os primeiros a inventarem a Teoria do Caos. Um exemplo bem simples de um sistema caótico seria o de três planetas orbitando cada um em torno dos outros influenciados apenas pela força da gravidade. Isso é ainda verdade mesmo quando se conhece as posições e velocidades em um dado instante.

O exemplo clássico de um sistema complexo é dado pelo sistema nervoso. O comportamento de cada neurônio é muito simples, responde a estímulos externos disparando ou não pelo fato da soma dos impulsos elétricos recebidos ultrapassar ou não um certo limiar. Apesar dessa simplicidade, o cérebro humano que, como diz Francis Crick não passa de um 'saco de neurônios' é, sem a menor dúvida, um dos sistemas mais complexos conhecidos.

Células, organismos, a economia das nações, etc., são exemplos de sistemas complexos adaptivos posto que consistem de muitas partes relativamente independentes altamente interconectadas e interativas. Tais sistemas não se encontram em equilíbrio termodinâmico. Eles absorvem e metabolizam energia de uma fonte externa retornando ao meio ambiente a parte não aproveitável. Do ponto de vista da física (segundo John Holland do Santa Fe Institute) é intrigante a forma como um grupo de companhias independentes conseguem manter alimentados os sete milhões de habitantes de uma cidade como New York. *"As companhias reabastecem constantemente restaurantes e supermercados que não mantêm mais do que um estoque para poucos dias sem que haja falta ou excesso"*.

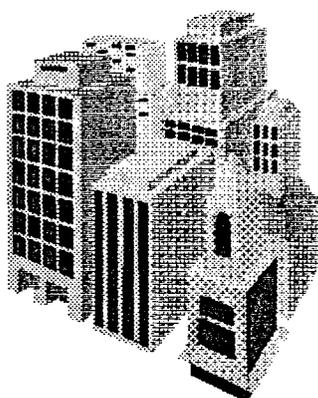


Figura 7.4 Cidades com mais de 1 milhão de habitantes são exemplos de sistemas complexos

#### 7.1.2.2 Abordagens para o problema da 'complexidade'

Um teste clássico para se checar se temos em mãos uma máquina pensante, foi proposto por Alan M. Turing (1950), considerado o Pai da Inteligência Artificial, e pode ser enunciado da seguinte forma:

*"Se um computador pode se desempenhar de tal maneira que um especialista não consegue distinguir o seu desempenho do de um ser humano com determinada habilidade cognitiva, isto significa que o computador também possui essa habilidade"*.

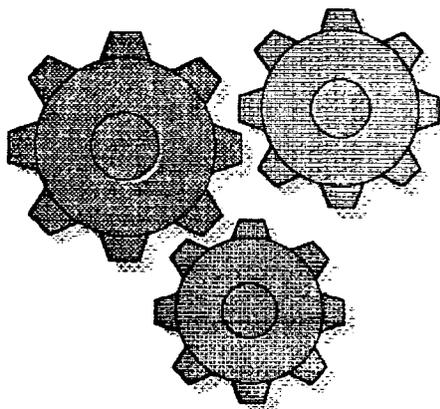
Tanto programas como pensamentos são definidos em termos de manipulação de símbolos. Os símbolos são puramente formais do ponto de vista da máquina, ou seja, são sintáticos. Um computador digital processa informações, codificando-as de determinada maneira (0s e 1s, por exemplo), daí então manipulando-os de acordo com regras estabelecidas. A mente humana, por sua vez, lida com símbolos semânticos, ou seja, com símbolos aos quais associa algum significado. A mera manipulação de símbolos não seria suficiente, dizem os que defendem a impossibilidade da máquina pensante, para garantir o conhecimento de seus significados.

Esta diferenciação desafia a proposição de Turing, pois podemos imaginar uma infinidade de experimentos onde o 'especialista' seria incapaz de distinguir entre uma máquina executando determinado programa e uma mente mergulhada no ato de pensar. (Mas a máquina não sabe o que faz, diriam alguns). Por outro lado, estamos comparando algo que conhecemos (a máquina rodando um programa) com algo que encobre um conceito abstrato (significado). Esta argumentação, como vimos, conduz a uma falácia intencional (2.1.6.3)

Diz-se que alguma coisa é computável quando se determina um procedimento capaz de, num tempo finito, encontrar a saída de uma caixa preta (que represente uma função conhecida) para determinada entrada. Alguma coisa é dita recursivamente computável quando se conhece um conjunto finito de operações as quais, se aplicadas a uma dada entrada diversas vezes, sucessivamente, hão de conduzir ao resultado correto dentro de um tempo finito. Existe uma tese, a qual não é passível de demonstração formal, defendida por Church, que estabelece que toda função computável é também recursivamente computável. Turing demonstrou que uma função recursivamente computável pode ser computada, num tempo finito, por uma máquina.

A Máquina de Turing, como passou a ser denominada, é constituída por um conjunto de regras (recursivas), as quais são sensíveis a identidade, a ordem e a forma como estão arranjados os símbolos encontrados na entrada. Em outras palavras, se identificarmos a complexa função que governa os padrões pelos quais os homens se guiam em suas respostas às excitações externas, basta que escrevamos o programa resultante e o façamos rodar numa Máquina de Turing, para termos construído a primeira máquina pensante da história da humanidade.

Os problemas que nos impedem hoje de construir tais equipamentos decorrem de limitações tecnológicas e da dificuldade de conceituar o pensamento. Chips cada vez mais velozes, memórias de tempo de acesso cada vez menores, a produção de neurônios em laboratório, entre outros avanços da eletrônica e da bioeletrônica, nos permitem projetar, para um futuro não muito remoto, um estado da arte que nos permita a realização de tais equipamentos. A partir de que ponto, de que grau de complexidade física dos circuitos ou biocircuitos, emergirá a consciência?



*Figura 7.5 A inteligência da Máquina*

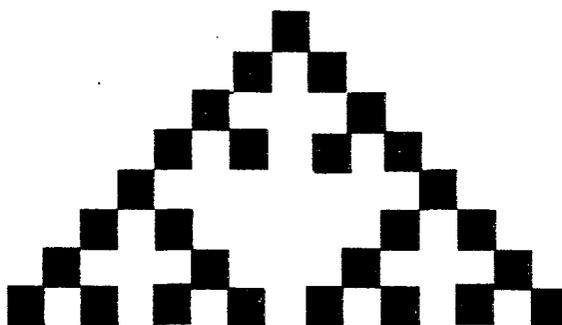
Claude E. Shannon, Andrei N. Kolmogorov e Gregory J. Chaitin (apud Grebogi, 1993) durante os anos 50 e 60 propuseram que o grau de complexidade de um sistema poderia ser relacionado ao tamanho da menor descrição possível do comportamento do mesmo. Esta teoria conduziu a uma técnica para medir a 'complexidade algorítmica de um processo'.

Em teoria a complexidade de dois sistemas poderia ser comparada, escrevendo-se dois programas de computador que fossem os menores capazes de reproduzir os dados originais. Na prática nos deparamos, ainda, com a impossibilidade de escrever tais programas. Crutchfield (op. cit.) propôs em 1980 um esquema baseado no trabalho do lingüista Noam Chomsky que desenvolveu um sistema de classificação dos diferentes tipos de computadores. A máquina universal de Turing pertenceria à classe mais poderosa. O uso gradual de computadores mais e mais poderosos permitiria uma modelagem cada vez mais e mais precisa, bem de acordo com o conceito que fazemos de modelos (representações aproximadas da realidade).

### 7.1.3 Autômatos celulares

Os autômatos celulares foram introduzidos pela primeira vez, nos anos 60, pelo matemático John von Neumann. São sistemas definidos em uma rede de células, cada célula contendo um valor numérico que evolui no tempo segundo uma regra predeterminada, em função dos valores das células vizinhas. A cada passo da evolução dinâmica do sistema, os valores de todas as células são atualizados simultaneamente.

Um exemplo clássico da evolução de um autômato celular é a representação em uma rede bidimensional da evolução de um autômato celular, com apenas uma célula preta na etapa inicial (a parte de baixo da figura).



*Figura 7.6 Exemplo de autômato celular*

As regras de construção são as seguintes:

- i) Cada célula da rede pode assumir dois estados, o preto e o branco
- ii) O valor futuro de uma dada célula será preto se os valores atuais de suas vizinhas forem à esquerda e à direita forem de cores diferentes.

O sentido da evolução é dado da reta de baixo (situação inicial) para a reta de cima.

Com esse modelo podemos introduzir os seguintes conceitos:

conceito i) *Autossimilaridade*

Imaginemos uma nova rede, superposta a original, onde cada célula passa a ser um quadrado de lado duas vezes maior, englobando quatro dos quadradinhos menores originais. Se dois ou mais desses quadradinhos forem pretos a nova célula também será preta. Se apenas um ou nenhum dos quatro for preto, a nova célula será branca.

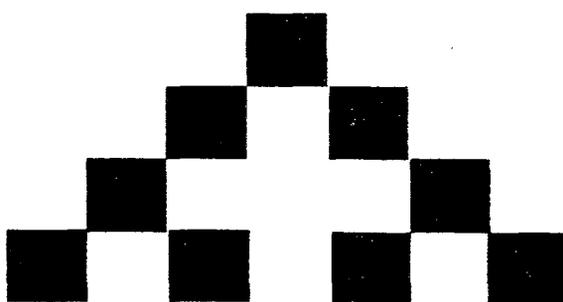


Figura 7.7 Autossimilaridade

A nova rede assim obtida é idêntica, autossimilar, à original se vista por uma lente que reduza os comprimentos pelo mesmo fator de escala.

conceito ii) *Fractalidade*

Para entendermos esse conceito vamos, primeiramente, definir o que venha a ser 'dimensão'. O que está por detrás da idéia de que retas são unidimensionais, planos são bidimensionais e cubos são tridimensionais?

Consideremos uma haste rígida de comprimento  $L$  e de massa  $M$ . Se cortarmos a haste ao meio, ou seja, aplicarmos um fator de escala de  $L/2$ , cada haste resultante terá comprimento  $L/2$  e massa  $M/2$ . Vamos definir dimensão ' $D$ ' pela seguinte fórmula matemática:

$$M(\lambda L) = \lambda^D M(L) \quad (1)$$



Figura 7.8 Haste unidimensional

Aplicando a fórmula teremos:  $M/2 = (1/2)^D M$ ; ou seja,  $D = 1$  para satisfazer a igualdade. Da mesma forma, quando estamos lidando com um plano e, portanto, temos que aplicar o fator de escala a ambas as dimensões (comprimento e largura), obtemos:



Figura 7.9 Plano bidimensional

$$M/4 = (1/2)^D M; \text{ ou seja, } D = 2$$

Aplicando o mesmo raciocínio para um cubo, teríamos:

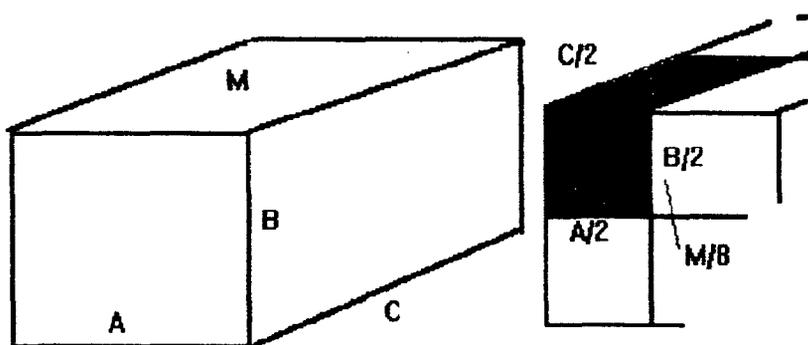


Figura 7.10 Cubo tridimensional

$$M/8 = (1/2)^D M; \text{ ou seja, } D = 3$$

Após este exemplo, já podemos entender o conceito de fractalidade. Se visualizarmos cada quadrado preto como tendo massa 1 e cada quadrado branco como tendo massa 0, podemos aplicar o mesmo raciocínio para determinar a figura gerada pela nossa reta original após termos aplicado o fator de escala de  $1/2$  à figura original. A figura original tem (é só contar) 27 quadradinhos pretos, ou seja,  $M(L) = 27$ , enquanto que a figura gerada por transformação de escala apresenta 9 quadradinhos pretos, ou seja,  $M(\lambda L) = 9$ , com  $\lambda = 1/2$ ; logo:

$$9 = (1/2)^D 27; \quad (1/2)^D = (1/3); \quad D = \log 3 / \log 2; \quad D = 1,58, \text{ um número fracionário}$$

conceito iii) *Ultrametricidade*

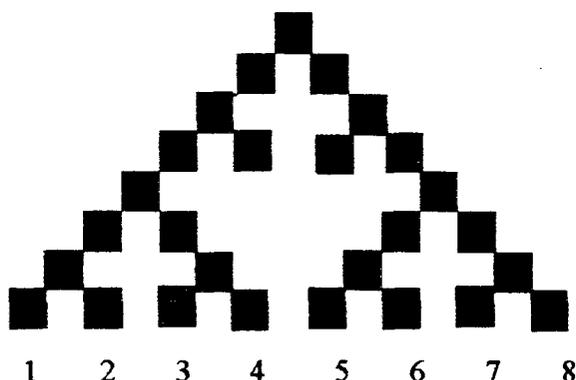


Figura 7.11 Passeando num tabuleiro de xadrez

Suponhamos que queiramos passar do quadradinho 1 até o quadradinho 3, só podendo andar pelas casas pretas. Nesse caso a distância entre o quadradinho 1 e o 3, que é igual a que existe entre o 1 e o 4 é de 6 unidades.

A distância entre o quadradinho 4 e o 5 é de 14 unidades. Tomando três posições genéricas A (quadradinho 1), B (quadradinho 4) e C (quadradinho 5), na linha horizontal mais baixa observa-se que a distância entre dois deles (A e C, 14) é, no máximo, igual à maior das duas outras distâncias envolvidas (A, B, com 6 e B e C com 14). Esta propriedade métrica contrasta com a observada num triângulo, em que o limite para um lado qualquer é a soma dos dois outros lados.

conceito iv) *Criticalidade*

Se em vez de nos preocuparmos com os quadradinhos pretos, nos concentrarmos nos vazios brancos e estudarmos a forma como esses vazios evoluem no tempo verificaremos que a rede se estende ao infinito, e notaremos que serão mais freqüentes vazios menores do que vazios maiores. Uma fórmula para se determinar o número  $N$  de vazios de comprimento  $L$  (onde  $L = 1$  significa um quadradinho branco,  $L = 2$ , dois, etc.) é dada por:

$$N(L) = L^\phi \quad (2)$$

Se escolhermos um  $\lambda = 1/L$  e substituirmos em (1), temos:  $M(\lambda L) = \lambda^D M(L)$ , ou seja  $M(1) = \text{constante} = M(L) (1/L)^D$  ou seja, podemos escrever que  $M(L) \propto L^D$  (no caso da massa  $M$ , o expoente é  $D$  em vez de  $\phi$ ). Esse tipo de Lei de Potência é característico dos chamados '*fenômenos críticos*' observados em sistemas que sofrem transições de fase.

### 7.1.4 A criticalidade auto organizada

Talvez, a pergunta mais importante que possamos formular seja o porque de tanta complexidade no mundo. Porque alguns sistemas, adaptivos ou não adaptivos parecem evoluir a partir dos extremos da mais completa ordem e da mais completa desordem? Para Per Bak um dos princípios que respondem a esta pergunta é o da 'criticalidade auto-organizada'. Um exemplo do que estamos falando é o de uma pilha de areia formada por grãos lançados no centro da pilha. Tal sistema pode exibir três estados distintos: sub-crítico, quando a pilha é plana e os grãos de areia podem disparar pequenas avalanches que logo se estabilizam; crítico, quando qualquer grão de areia que se acrescenta é capaz de disparar uma avalanche de qualquer tamanho ou super-crítico, quando enormes avalanches são produzidas fazendo com que a pilha retorne ao estado crítico.

Outro exemplo clássico é o da água fervendo, que coexiste em duas fases, líquido e vapor, abaixo de  $374^{\circ}\text{C}$  mas se apresenta em uma única fase homogênea, gasosa, acima dessa temperatura crítica. Mantida a pressão atmosférica normal, a água ferve a  $100^{\circ}\text{C}$ . Aumentando gradativamente a temperatura de ebulição da água, numa panela de pressão controlada, bolhas de vapor cada vez maiores são observadas no interior do líquido. Justo a  $374^{\circ}\text{C}$ , há bolhas de todos os tamanhos possíveis, caracterizando um estado crítico. O número ( $N$ ) de bolhas se expressa como uma lei de potência, em função do tamanho ( $T$ ) das bolhas com um expoente característico da capacidade que a água tem de reagir a pressões externas. Ao se aproximar dessa temperatura, a compressibilidade da água cresce indefinidamente, porque é muito fácil comprimi-la devido à possibilidade de transformar grandes bolhas de vapor em líquido.  $N(T) = T^{\phi}$ .

Uma curiosidade é que o valor do expoente crítico para o caso da água é o mesmo que para outros sistemas completamente distintos. Um material ferromagnético, por exemplo, também sofre transição de fase, perdendo a imantação acima de uma certa temperatura crítica. Nessa temperatura crítica também se observam bolhas de magnetização de todos os tamanhos possíveis. A capacidade que o material tem de reagir a campos magnéticos externos (susceptibilidade magnética) também se torna infinita, segundo o mesmo expoente característico da compressibilidade da água, apesar dessas duas grandezas distintas, relativas a sistemas distintos, não terem nenhuma relação aparente uma com a outra. Desses fatos emerge o seguinte conceito adicional:

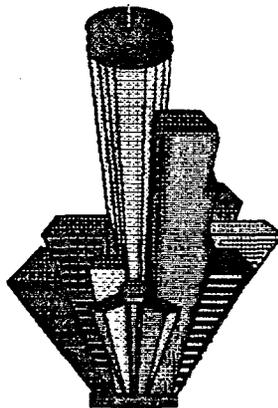
#### conceito v) *Universalidade*

A universalidade afirma o fato intrigante de que muitos dos sistemas complexos apresentam um mesmo conjunto de expoentes críticos.

A crença intuitiva que temos é a de que situações críticas sejam instáveis. A tendência natural de um sistema próximo da criticalidade é a de se afastar dessa situação, à medida que evolui dinamicamente.

A teoria da auto organização está ligada ao trabalho de Kauffman (1991), Bernard Derrida, Langton e Packard (apud Oliveira, 1993). Derrida demonstrou, analiticamente, que um sistema vai através de uma transformação de fase de um estado de ordem para outro estado aleatório se a força da interação entre agentes (que podem ser desde simples células até a sociedade humana como um todo) interconectados é gradualmente fortalecida. Packard, através de simulações em computador, mostrou que sistemas complexos adaptivos tendem a evoluir em direção a um limite através de seleção natural. Langton demonstrou que um sistema pode realizar as computações mais complexas quando no limite entre ordem e aleatoriedade. A partir dessas idéias Kauffman e outros propuseram que um organismo modifica a força com que interage com outros de tal forma que alcance a fronteira entre ordem e aleatoriedade maximizando sua adaptação ao meio ambiente.

Nos anos 50, o estudo dos registros de terremotos ocorridos durante cerca de 100 anos na costa oeste americana, mostrou que a intensidade ( $E$ ) se relaciona com a frequência ( $N$ ) de terremotos dessa intensidade por uma lei de potência  $N(E) \propto E^b$ . Por alguma razão ainda não conhecida a evolução da atividade geológica da crosta terrestre durante séculos levou a uma situação crítica.



*Figura 7.12 A evolução parece sempre conduzir a situações críticas*

### 7.1.5 Redes neuronais e teoria do caos

#### O vidro de spin

Para descrever certos materiais magnéticos desordenados, os cientistas desenvolveram uma versão mais complexa do modelo de Ising: o 'vidro de spin'. No ferromagneto, quaisquer dois spins tendem a se alinhar no mesmo sentido. No vidro de spin, ao contrário, alguns pares tendem a se alinhar paralelos, mas outros preferem uma configuração antiparalela. Para os primeiros, a interação entre os spins é ferromagnética, significando que a energia é nula quando ambos os spins apontam no mesmo sentido, e tem valor  $\epsilon$  quando apontam em sentidos opostos. Nesses casos, é energeticamente mais favorável que os spin se alinhem paralelos, anulando a energia do par.

Para o segundo tipo de par, no entanto, a interação é antiferromagnética: a energia vale zero quando um spin aponta para cima e o outro para baixo e vale  $\epsilon$  quando estão paralelos. Nesse caso os dois spins tendem a se alinhar antiparalelos.

O sistema denominado 'vidro de spin de Ising' é um conjunto de  $N$  spins em que metade dos  $N$  ( $(N-1)/2$  pares existentes (escolhidos aleatoriamente) apresentam interação do tipo ferromagnética enquanto os demais interagem de maneira antiferromagnética. Com tal sistema podemos definir um novo conceito:

#### conceito vi) *Frustração*

Consideremos, por exemplo, três spins A, B e C, e imaginemos que os pares AB e AC interagem ferromagneticamente enquanto que o par BC interage antiferromagneticamente. A tentativa de se zerar a energia magnética dos três pares simultaneamente será frustrada. Pelo menos um par estará armazenando uma energia  $\epsilon$ .

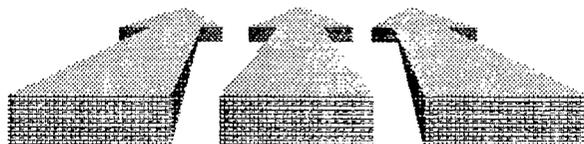


Figura 7.13 O vidro de spins

Para um número  $N$  de spins, o número de estados fundamentais, aqueles de mínima energia, será tanto maior quanto maior for o número  $N$ . Tomando dois desses estados fundamentais é possível imaginar a transformação de um deles no outro, bastando inverter os spins necessários. Cada inversão isolada, no entanto, corresponde a um aumento de energia e tal processo de passagem de um estado a outro não ocorre naturalmente na evolução dinâmica do sistema. Com isso podemos definir mais um novo conceito.

#### conceito vii) *Quebra de ergodicidade*

Em baixas temperaturas, com poucas possibilidades de flutuações térmicas, esse tipo de sistema fica confinado a poucos estados próximos a algum estado fundamental, diferindo deste pela orientação de uma pequena fração dos spins. O grau de ergodicidade é parcial. A partir de uma certa temperatura crítica o sistema se torna verdadeiramente ergódico podendo visitar estados próximos a qualquer estado fundamental. O resfriamento gradativo do sistema, a partir da temperatura acima do valor crítico leva a uma quebra de ergodicidade.

No 'vidro de spin' vários caminhos podem ser escolhidos já que o conjunto de  $2^N$  estados acessíveis pode ser dividido em muitas partes, correspondentes aos vários estados fundamentais.

A medida que se resfria mais e mais o sistema ocorrem novas quebras de ergodicidade que aumentam o grau de confinamento e reduzem o número de estados fundamentais em torno dos quais o sistema pode ser observado. É como se reduzíssemos o nível de água de um lago e observássemos um peixe nadando cada vez mais confinado em 'sub-lagos', depois em 'sub-sub-lagos', etc.

Em 1982, tentando simular em computador as tarefas executadas pelo cérebro humano, como o reconhecimento de um rosto, o físico J. J. Hopfield teve a idéia de associar o estado de um 'vidro de spin' a uma informação. Qualquer informação pode ser codificada em bits 1 (spins apontando para cima) ou 0 (spins apontando para baixo). Hopfield (apud Oliveira, 1993) construiu um vidro de spin cujos estados fundamentais eram conjuntos pré fixados de informações; fotos 3x4 de 15 alunos de uma turma de colégio. Cada foto foi codificada num tabuleiro de  $N = 30 \times 40 = 1200$  quadradinhos. Temos, portanto,  $[(1200 \times 1199)/2] = 719.400$  possíveis interações ferromagnéticas ou antiferromagnéticas possíveis entre os 1.200 spins, de forma que os estados fundamentais correspondam exatamente às 15 fotos de tal forma que esses sejam os únicos estados mínimos de energia desse vidro de spin. Segundo Hopfield esse sistema seria capaz de imitar, de forma simplificada, a memória humana, realizando o reconhecimento artificial de fotografias.

Vamos supor que se apresente uma foto de um dos 15 alunos, diferente da que serviu a definição do estado fundamental correspondente.

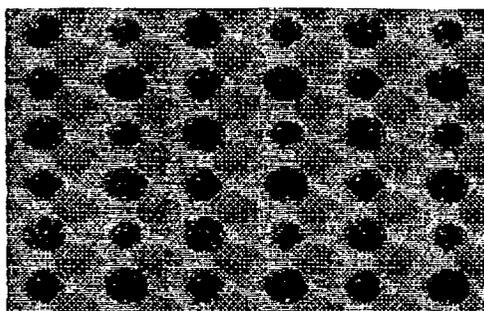


*Figura 7.14 Reconhecimento de padrões*

Na foto original o rapaz estaria sorrindo enquanto nessa ele se mostra sério. As duas fotos, naturalmente, são parecidas. Naturalmente, também, a energia correspondente será maior e o estado fundamental mais próximo será aquele da foto original; ou seja; o sistema será capaz de reconhecer essa foto como pertencente a do rapaz sorridente parecido.

Sistemas conexionistas dividem uma computação global em numerosas computações mais simples. Uma rede conexionista de uma única camada e de uma única saída computa, tipicamente, uma função simples, a soma ponderada dos valores de entrada. Uma rede de múltiplas camadas inclui unidades processadoras 'escondidas' cujas entradas são saídas de outras unidades.

O problema com a rede de Hopfield é que ela é treinada para associar padrões de entrada às saídas, de forma a eliminar erros, distorções, etc. Em outras palavras, a idéia é reproduzir a 'percepção idealizada' que cada um tem do mundo. Existem redes como as de Kohonen que, diferentemente das de Hopfield, são não supervisionadas (a rede aprende pela experiência a reconhecer certos padrões). O que nos interessa, evidentemente, são essas redes de treinamento não supervisionadas.



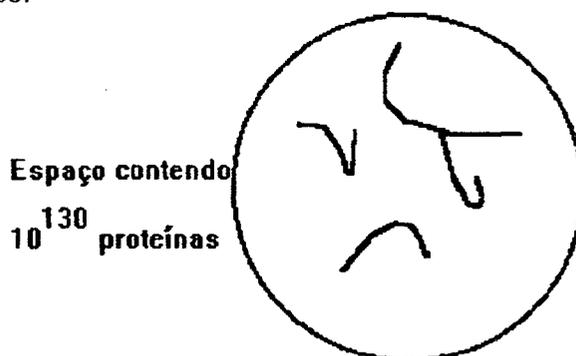
*Figura 7.15 As redes de Kohonen*

## 7.1.6 Aplicações das técnicas de caos a sistemas complexos

### 7.1.6.1 Aplicações na biologia

Todos os organismos vivos têm em comum o fato de que as diversas funções vitais são realizadas por proteínas. Uma proteína é uma seqüência de aminoácidos ligados em fila. Existem 20 diferentes tipos de aminoácidos na natureza e a função vital desempenhada por cada proteína depende da seqüência específica dos aminoácidos ao longo da fila.

Vamos supor, por hipótese, que todas as proteínas tivessem, no total, o número fixo de 100 aminoácidos. O número de diferentes proteínas que poderíamos formar seria, neste caso,  $20^{100} \approx 10^{130}$ . É como se tivéssemos, para cada problema, a necessidade de buscar num espaço de soluções que contivesse todas as proteínas possíveis, uma determinada proteína. Essa estratégia nos levaria, porém, a estimativas de tempo muito maiores que a própria idade do universo.



*Figura 7.16 Espaço de proteínas com 100 aminoácidos*

Uma pista que podemos seguir para a solução desse quebra cabeças está no fato de que há proteínas dos mais variados comprimentos, desde os menores, com apenas alguns aminoácidos até as maiores contendo centenas de aminoácidos em sua cadeia. Essa diversidade levou os cientistas a especular com a hipótese de que o conjunto de proteínas observado se constitua num estado crítico.

Stuart Kauffman (apud Oliveira, 1993), com base nessa idéia, apresentou um modelo para a evolução das proteínas que parte da suposição simplificadora de que todas as proteínas tenham 100 aminoácidos. Cada uma das  $10^{130}$  proteínas possíveis corresponde a um ponto no espaço de estados. Nesse espaço cada proteína terá, como vizinha, proteínas que dela diferem por apenas 1 aminoácido; ou seja, 1.900 vizinhas. (Cada posição pode ser ocupada por 19 aminoácidos diferentes que, multiplicados por 100 posições possíveis geram as tais 1.900 alternativas).

Uma mutação faria com que uma determinada proteína se transformasse em uma de suas vizinhas mas essa só sobreviveria ao processo evolutivo se sua forma fosse mais apta no sentido de adaptação que aquela que a gerou. Para fazer essa comparação podemos associar aleatoriamente a cada proteína um '0' (não adaptada) ou um '1' (adaptada). A regra evolutiva adotada consiste em se escolher uma vizinha qualquer e verificar se essa é mais ou menos apta que sua antecessora. Se for ela sobrevive e a proteína original morre sendo substituída por sua sucessora. Essa regra seleciona as mutações benéficas. Em média, partindo-se de uma proteína qualquer, metade de suas 1.900 vizinhas são formas melhores enquanto a outra metade corresponde a mutações não benéficas que são eliminadas. Depois da primeira mutação, uma segunda é mais difícil de ser aceita: em média apenas 475 (metade da metade) das 1.900 vizinhas terão aptidão melhores. Por esse processo vai-se eliminando a cada geração metade das proteínas vizinhas chegando-se a um ponto estável em apenas 11 gerações.

No primeiro passo tivemos 950 possíveis caminhos diretos a seguir. No segundo 475; ou seja, temos, para  $N = 950$ , um total menor que:

$$\begin{aligned} & [N*(N/2)*(N/4)*(N/8)*(N/16)*(N/32)*(N/64)*(N/128)*(N/256)*(N/512)*(N/1024)] \\ & = \\ & [(N^{11})/(2^{(1+2+3+4+5+6+7+8+9+10)})] \\ & = \\ & (N^{11})/(2^{(55)}), \end{aligned}$$

bem menos que as correspondentes ao valor original, o que demonstra que esse sistema é bem mais eficiente que o da seleção direta.

### 7.1.6.2 Aplicações na economia

As teorias econômicas clássicas partem do pressuposto fundamental de que o mercado se regula por si mesmo. Segundo esse pressuposto, qualquer desvio provocado por algum agente econômico será contrabalançado pelo resto do sistema, que acaba atingindo novamente o equilíbrio depois de algum tempo, como na conhecida lei da oferta e da procura.



*Figura 7.17 A Lei da oferta e da procura parece não funcionar muito bem*

No espaço de todos os possíveis estados econômicos essa visão corresponde a uma estrutura de relevo simples, com um único estado de equilíbrio, como num ferromagneto. Essa situação é característica de sistemas dinâmicos em que cada agente recebe influências dos demais sempre no mesmo sentido, sem conflitos de interesse. Mas a experiência mostra que nem sempre é esse o caso da economia real em que vivemos, principalmente no mercado dependente de produtos de alta tecnologia, onde vários fatores influenciam cada agente e a possibilidade de conflito é maior.

Um exemplo bastante concreto está na recente disputa de mercado entre aparelhos e fitas de videocassete com tecnologia VHS ou Betamax. há alguns anos as duas tecnologias dividiam meio a meio o mercado ainda incipiente desses produtos. Em poucos anos, porém, o mercado foi inteiramente dominado pela tecnologia VHS.

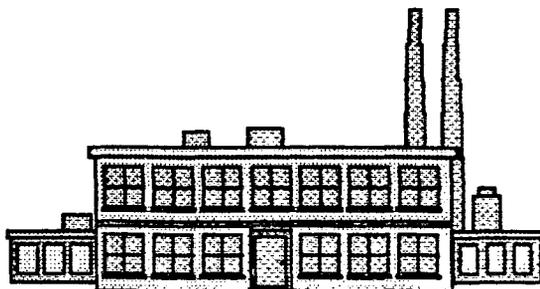
As origens desse domínio se reportam ao início do processo. Quando o mercado era dividido, o comprador teria dúvidas na escolha da tecnologia mais promissora. Cada usuário, por fatores pessoais diversos, faz pender a balança para um lado ou outro. Esse efeito de retroalimentação positiva (é mais prudente comprar um aparelho igual ao do vizinho porque assim posso trocar fitas com ele) contrasta com a premissa de que toda a ação num sentido é compensada pelo mercado no sentido inverso (retroalimentação negativa).

Esse cenário de evolução econômica se assemelha à experiência de resfriamento de um vidro de spin que, repetida várias vezes, pode levá-lo a diferentes estados fundamentais. A teoria econômica clássica é, ao contrário, semelhante ao resfriamento de um ferromagneto, que sempre termina na mesma situação final, com todos os spins paralelos.

### 7.1.6.3 Aplicações na Engenharia

A moda, em termos de projetos industriais, é o 'modelo japonês', o qual contrapõe ao 'just in case' ocidental, maximizar a produção e procurar vender o que se produz, o 'just in time' japonês, só produzir aquilo que se vende. Para isso precisa-se de uma fábrica flexível capaz de se adaptar às variações de mercado.

Imaginemos uma fábrica projetada para um estado caótico com diversos estados fundamentais possíveis. Num determinado instante ela estaria atuando em determinado estado fundamental graças a um tipo de controle. Em caso de mudanças bastaria desligar o controle para a fábrica retornar ao estado caótico e religá-lo de forma a recair no novo estado fundamental desejado.



*Figura 7.18 A fábrica do futuro será projetada para ser caótica*

Vamos tomar como exemplo uma fábrica que se comporte de maneira periódica, previsível, produzindo tinta azul. De repente, por mudança brusca no meio ambiente, a demanda passa a ser de tinta amarela. Dentro do modelo convencional, para atender a esse mercado, se é obrigado a efetuar mudanças radicais na linha de montagem. Se essa indústria foi projetada para atuar num estado caótico, azul e amarelo podem ser considerados como estados fundamentais e, por meio de técnicas de 'controle do caos' a agilidade com que tal fábrica é capaz de se adaptar à mudanças é muito maior.

#### 7.1.6.4 Aplicações na Medicina

Pesquisadores do Centro Médico da Universidade da Califórnia extraíram o coração de coelhos brancos da Nova Zelândia e usaram uma droga tipo digitalis que leva o coração a um estado caótico. Aplicando impulsos elétricos extremamente pequenos conseguiram levar o coração ao estado periódico que desejavam. Pode-se implantar um micro circuito, próximo ao coração, capaz de detectar quando esse entra em estado caótico, um estado de fibrilação por exemplo, e, imediatamente, por impulsos elétricos muito pequenos, levá-lo novamente ao estado periódico. Teríamos um marcapasso inteligente.

#### 7.1.6.5 Aplicações do Caos na modelagem computacional do processo de equilibração das estruturas cognitivas

Simulações em computador conseguem replicar algumas das características dos sistemas complexos. Técnicas de Caos fornecem ferramentas preciosas para o tratamento de sistemas não lineares e variantes no tempo, intratáveis pela matemática convencional. Algoritmos genéticos; uso misturado de realimentações positivas (desestabilizadoras) e negativas; Redes Neurais supervisionadas e não supervisionadas; etc., são exemplos de técnicas desenvolvidas que, cada vez mais, se somam, ajudando-nos a examinar a complexidade dos sistemas existentes.

## 7.2 Técnicas do Caos

### 7.2.1 Os Algoritmos Genéticos Construtivistas

#### 7.2.1.1 Introdução

Os algoritmos genéticos são métodos de busca baseados em mecanismos de seleção natural (genética), dentro do conceito de "sobrevivência dos mais adaptados". A pesquisa que conduziu ao desenvolvimento do algoritmo teve duas metas:

- ☛ Explicar de forma abstrata e rigorosa o processo adaptativo de sistemas naturais (organismos vivos).
- ☛ Desenvolver um "software" que reproduzisse o importante mecanismo de solução de problemas empregado pelos sistemas biológicos.

.Comparação da Terminologia Natural e dos Algoritmos Genéticos	
<i>Natural</i>	<i>Algoritmos Genéticos</i>
cromossoma	palavra
gene	'feature', característica ou detector
alelo	valor da característica
locus	posição na palavra
genótipo	estrutura
fenótipo	conjunto de parâmetros, solução alternativa, uma estrutura decodificada
epistasia	não linearidade.

*Figura 7.19 - Algoritmos genéticos*

O tema central da pesquisa foi a robustez, a criação de um algoritmo que fosse aplicável com eficiência para a maioria dos problemas encontrados. Sistemas naturais são robustos, eficientes e eficazes, adaptados a muitos ambientes. Algoritmos Genéticos operam sobre uma população de palavras, com a palavra codificada representando alguns parâmetros do mundo.

Operadores são aplicados sucessivamente na população de palavras para criar nova população de palavras. Desta forma, constroem novos algoritmos num processo de seleção natural. Busca-se um conjunto inicial de algoritmos que, a semelhança dos 23 aminoácidos que formam a base de toda a infinidade de estruturas proteicas, possam ser capazes de construir todos os algoritmos porventura necessários à adaptação do organismo ao seu meio ambiente.

Quatro aspectos diferenciam os algoritmos genéticos das demais técnicas de otimização convencionais, a saber:

- ☛ Manipulação direta de uma codificação;
- ☛ Busca a partir de uma população, não de um simples ponto;
- ☛ Busca via amostragem, uma busca cega;
- ☛ Busca usando operadores estocásticos, não regras determinísticas.

A medida que computadores massivamente paralelos vêm sendo desenvolvidos se torna mais e mais factível a idéia de fazer 'evoluir' populações de 'software', a população inteira podendo evoluir em paralelo. Entende-se, aqui, por população de software, um conjunto de algoritmos, que podem ser expressos num computador por seqüências de dígitos binários, pertencentes a um "Espaço de Algoritmos" que define a forma pela qual um determinado indivíduo opera sobre o 'seu mundo'.

O algoritmo genético mais simples, que produz bons resultados para a maioria dos problemas práticos é composto por apenas três operadores: Reprodução, Crossover e Mutação.

Reprodução é o processo pelo qual palavras individuais, que podem significar soluções possíveis para um determinado problema, são copiadas de acordo com valores dados pela função objetivo que, na biologia, é denominada função de adaptação, ou seja, uma medida da adequação de um indivíduo ao seu meio ambiente. Quanto mais 'adaptada' for uma 'palavra', maior a chance de contribuir para as gerações futuras. Esse operador pode ser implementado, de forma algorítmica, de várias maneiras, por exemplo criando-se uma roleta diagonal onde cada palavra da população é representada por uma área proporcional ao seu valor de adaptação.

O Crossover simples ocorre em dois passos. O primeiro passo consiste em se determinar (aleatoriamente) quais as palavras que vão 'casar' e, a seguir, também aleatoriamente, aonde (em que posição da palavra) se processará o corte.

Por exemplo, sejam:

$$\begin{array}{l} A = 0110 \mid 1 \\ B = 1100 \mid 0 \end{array}$$

Note que estamos escolhendo aleatoriamente uma posição do corte ( $\mid$ ), isto é,  $k=4$ .

O resultado do Crossover produz duas novas palavras,

$$\begin{array}{l} A' = 01100 \\ B' = 11001 \end{array}$$

Mutação é uma alteração aleatória ocasional do valor de uma posição da palavra. Na vida real mutações ocorrem com baixa probabilidade. Em sistemas computacionais taxas muito alta provocam instabilidade algorítmica.

O ciclo básico do algoritmo é mostrado na figura seguinte:

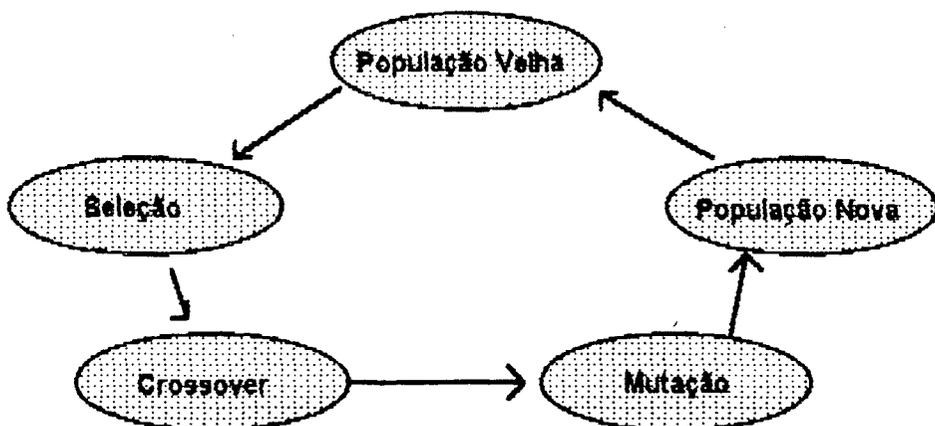


Figura 7.20 - Ciclo básico dos algoritmos genéticos

O primeiro passo consiste na inicialização, na escolha de uma população inicial. A partir dessa comunidade de indivíduos executa-se o processo de *seleção*. Ele determina quais indivíduos da população velha serão usados para gerar os indivíduos da população nova. Esta seleção é feita por uma roleta ponderada. Ou seja, os indivíduos que vão se reproduzir são sorteados na população original. Mas aqueles que tem um valor de adaptação (fitness) melhor tem maiores chances de serem selecionados do que os que tem valor de adaptação menor.

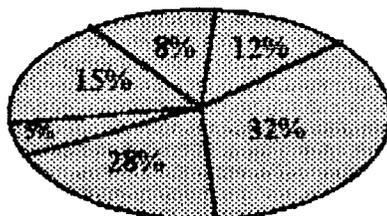


Figura 7.21 Roleta para escolha do conjunto de pais

A maneira mais fácil de entender o funcionamento básico de um algoritmo genético é através de um exemplo. Consideremos o problema de encontrar o valor máximo atingido por uma função dentro de um intervalo. Por simplicidade vamos assumir que estamos interessados apenas em soluções inteiras.

O primeiro passo, como vimos, consiste na geração aleatória de uma população inicial, que em nosso caso serão números inteiros codificados através de cadeias de bits que são denominados *cromossomas*. O algoritmo genético usa esta população inicial para produzir uma nova população que, em média, é "melhor" do que a população anterior. Seja, por exemplo, a função objetivo  $f(x)=x^2+1$ , onde  $x$  é um inteiro entre 0 e 15. Uma possível população inicial seria:

- 0010
- 1101
- 1011
- 1010

Estas cadeias de bits correspondem ao *genótipo* dos indivíduos da população. O *genótipo* codifica um *fenótipo*, que neste caso consiste na conversão dos valores binários entre 0 e 1111 em valores inteiros entre 0 e 15. Tem-se assim:

genótipo	fenótipo
0010	2
1101	13
1011	11
1010	10

O grau de adaptação ou "*fitness*" de cada indivíduo é dado pela aplicação da função objetivo ao *fenótipo*. Como o objetivo é maximizar a função, o grau de adaptação será diretamente proporcional ao valor de  $f(x)$ . Aplicando a função  $x^2+1$  aos *fenótipos* da população inicial tem-se:

genótipo	fenótipo: $x$	adaptação: $f(x)$
0010	2	5
1101	13	170
1011	11	122
1010	10	101

O segundo elemento, 1101, representa o valor 170 para a função no ponto  $x=13$  e é o melhor indivíduo desta população. O terceiro e o quarto elementos também são bons indivíduos, embora não tanto quanto o segundo. Já o primeiro elemento é um indivíduo com fraco grau de adaptação. A ideia é usar os melhores indivíduos para gerar a próxima população. Isto é, os mais bem adaptados podem deixar descendentes, reproduzindo e/ou recombinaando seu material genético, enquanto que os menos adaptados não devem deixar descendentes. Portanto, seu material genético é excluído da próxima população. Se este processo for bem conduzido, pode-se esperar que a população seguinte seja, em média, melhor do que a população anterior.

O segundo passo é o processo de *crossover*. O *crossover* usa um par de indivíduos selecionados na etapa anterior. Estes indivíduos serão os pais de dois indivíduos da população nova. O *crossover* ocorre com uma probabilidade  $p_c$ . Se para um determinado par selecionado não ocorrer o *crossover*, então o par é simplesmente copiado na próxima população. Caso ocorra o *crossover* então haverá um sorteio do ponto de corte dos cromossomas. Se o comprimento da cadeia de bits do cromossomo de cada um dos pais é  $r$ , então um número aleatório  $s$  entre 1 e  $r-1$  será selecionado. O processo de *crossover* consiste em formar dois novos indivíduos.

O *genótipo* do primeiro indivíduo será formado pelos  $s$  primeiros bits do primeiro pai e os  $r-s$  últimos bits do segundo pai. O *genótipo* do segundo indivíduo será formado pelos  $r$  primeiros bits do segundo pai e os  $r-s$  últimos bits do primeiro pai. A figura seguinte ilustra esta situação:

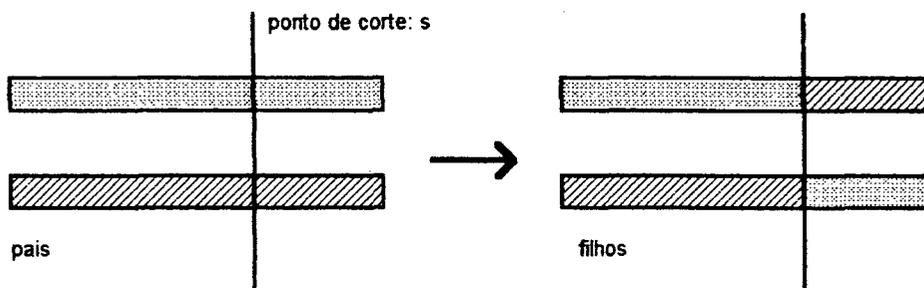


Figura 7.22 Exemplo de crossover

O último passo do processo genético é a mutação. Uma probabilidade de mutação  $p_m$  muito pequena deve ser definida. Os bits de todas as cadeias da nova população estão sujeitos a esta probabilidade de mutação. Evidentemente, um bit só pode mudar de 1 para 0 ou de 0 para 1. A figura seguinte ilustra a ocorrência de duas mutações numa cadeia, uma no bit 6 e outra no bit 9:

```

10100111011
  ↓ ↓
10100011111

```

Figura 7.23 Exemplo de mutação

Os três passos, descritos acima, são repetidos para criar novas gerações até que alguma condição de parada seja obtida. Esta condição pode ser, por exemplo, atingir um número máximo de gerações. Este algoritmo tem provado ser muito efetivo para resolver vários problemas de pesquisa numérica. Embora pareça ser uma pesquisa aleatória, o ganho qualitativo em cada geração indica que o algoritmo efetua uma pesquisa bem direcionada. Para ilustrar o processo de geração de uma nova população será retomado o exemplo. Neste exemplo, a população inicial foi definida como:

genótipo	fenótipo: $x$	fitness: $f(x)$
0010	2	5
1101	13	170
1011	11	122
1010	10	101

Define-se uma probabilidade de mutação  $p_m = 0.001$  e uma probabilidade de crossover  $p_c = 0.8$ .

O primeiro passo é a seleção de dois casais para cruzamento. O somatório dos índices de adaptação da população é igual a 398. Portanto, cada indivíduo tem a probabilidade de ser sorteado igual ao seu índice de adaptação dividido por esse somatório:

genótipo	fenótipo: $x$	fitness: $f(x)$	chance
0010	2	5	1,26%
1101	13	170	42.71%
1011	11	122	30.65%
1010	10	101	25.38%

Suponha-se que o sorteio ponderado tenha selecionado os seguintes casais:

Casal 1: *1101* e *1011*

Casal 2: *1010* e *1101*

Deve-se observar que o indivíduo *1101* aparece em dois casais distintos. Mas não há nenhum problema quanto a isso. Já o indivíduo *0010* não aparece em nenhum casal. Isto ocorre porque ele é um indivíduo fraco com poucas chances de se reproduzir. Supondo que para o primeiro casal não haja crossover, então os indivíduos *1101* e *1011* são simplesmente copiados para a população nova.

Para o segundo casal, suponha-se que houve crossover. Então deve ser selecionado um ponto de corte, que consiste em um valor inteiro entre 1 e 7. Se este ponto for 2, por exemplo, então o crossover ocorrerá da seguinte forma:

Pais:	Filhos:
<i>10 10</i>	<i>10 01</i>
<i>11 01</i>	<i>11 10</i>

A nova população consiste, por enquanto, dos indivíduos gerados a partir do primeiro e do segundo casal. Ou seja:

Filhos do primeiro casal:	<i>1101</i> e <i>1011</i>
Filhos do segundo casal:	<i>1001</i> e <i>1110</i>

O passo seguinte é a mutação, que foi definida em nosso exemplo, com probabilidade de 0.01%. Isto significa que de cada 10.000 bits da nova população, em média 1 bit mudará de 0 para 1 ou de 1 para 0.

genótipo	fenótipo: $x$	fitness: $f(x)$
1110	14	197
1101	13	170
1011	11	122
1001	9	82

Pode-se observar que a média do índice de adaptação desta população é bem superior à média da população anterior. Enquanto a média para a população era de 99.5, a nova tem 142.75. Eventualmente, o índice médio de adaptação pode piorar de uma população a outra mas, com o passar das gerações, ele tende a um ótimo.

### 7.2.1.2. Algoritmos genéticos - Teorema fundamental

#### • O conceito de "Schemata"

Como podemos ter certeza que padrões que conduzem a uma convergência algorítmica serão reproduzidos? Um schema, plural schemata, é definido como uma máscara com posições fixas (0, 1) e posições em aberto, representadas por asterísticos que, pela faculdade de poderem ser preenchidas, representam famílias de palavras cujas semelhanças são definidas por estes 'terminais abertos' e a estrutura fixa. Em verdade esses schemata representam padrões. O estudo de como esses padrões evoluem geração após geração nos dará a medida pela qual os algoritmos genéticos convergem ou não para uma solução ótima.

*o schema \*0000 representa uma família composta por 2 palavras, {10000, 00000}*

*o schema \*111\* representa uma família de 4 palavras, {01110, 01111, 11110, 11111}*

Generalizando, para um alfabeto de  $k$  símbolos, o número total de schemata é dado por  $(k + 1)^l$ , onde  $k$  é a cardinalidade do alfabeto estendido e  $l$  é o comprimento da palavra. Portanto, no exemplo anterior, temos  $3^5 = 243$  schemata possíveis. Uma palavra desse alfabeto pode pertencer a quaisquer de  $2^l$  schemata. Com isto, uma população de tamanho  $n$  subentende, no máximo, posto que podem haver schemata repetidos, um valor entre  $2^l$  e  $n \cdot 2^l$  schemata.

Consideremos, sem perda de generalidade, palavras construídas sobre o alfabeto binário  $V = \{0, 1\}$  e uma população aleatória de  $n$  palavras. A palavra  $A = 0111000$ , por exemplo, pode ser representada simbolicamente por  $A = a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 a_7$ , onde cada  $a_i$  é um gene que pode tomar dois valores: 0 ou 1 (alelos). Consideremos, agora, uma população de palavras individuais  $A_j, j=1, 2, \dots, n$ , contidas na população  $A(t)$  da geração  $t$ . Tomemos o schema  $E$  construído sobre o alfabeto  $V^+ = \{0, 1, *\}$ . O schema  $E = *11*0**$ , por exemplo, apresenta comprimento sete. Note que a palavra  $A=0111000$ , é membro da família de palavras definida pelo schema  $E$ .

Dada uma população  $P$ , o conjunto dos indivíduos que possuem um determinado esquema  $E$  será denotado por  $m(E, P)$ , onde:

$$m(E, P) = \{p \mid p \in P \wedge \forall i (p_i = E_i \vee E_i = '*')\}$$

Para um indivíduo pertencer a  $m(E, P)$ , deve-se observar cada bit de interesse de  $E$  e comparar com o bit correspondente do indivíduo. Se todos os bits forem iguais, então o indivíduo possui o esquema. Por exemplo, dada a população  $P = \{110, 111, 001, 101\}$  e o esquema  $11*$ , tem-se:

$$m(11*, P) = \{110, 111\}$$

Dada uma população  $P$ , o grau de adaptação de um esquema  $E$  nesta população, denotado por  $f(E, P)$ , é calculado como a média dos graus de adaptação dos indivíduos que pertencem a população e possuem o esquema no genótipo. Ou seja:

$$f(E, P) = \frac{\sum_{p \in m(E, P)} f(p)}{|m(E, P)|} \quad (1)$$

onde  $|m(E, P)|$  indica o número de elementos do conjunto  $m(E, P)$ .

O grau de adaptação médio de uma população,  $f(P)$ , é definido por:

$$f(P) = \frac{\sum_{p \in P} f(p)}{|P|} \quad (2)$$

Se cada posição em um cromossomo determina uma característica que o indivíduo tem ou não tem, então um schema representa um arranjo de características. Existem características que são importantes para a convergência do processo e que devem ser multiplicados. O teorema fundamental dos algoritmos genéticos estabelece como aumentam os esquemas bons e como desaparecem da população os maus esquemas.

#### ☛ Reprodução

O efeito da Reprodução sobre o número esperado de schemata na população é facilmente determinado. Suponha que numa dada geração  $t$  existam  $m$  exemplos de um particular schema  $E$  contido na população  $A(t)$ , onde  $m = m(E, t)$ . Durante a reprodução uma palavra é copiada de acordo com o valor da fitness, ou seja, a palavra  $A_j$  é selecionada com a probabilidade.

$$\frac{f(A_i)}{\sum_{j=1}^n f(A_j)} \quad (3)$$

Ao fim do processo de reprodução, esperamos ter  $m(E, P, t+1)$  Schema  $E$  na geração  $t+1$ , sendo este valor determinado pela seguinte equação,

$$m(E, P, t+1) = m(E, P, t) * n(E) * f(E, P, t) / f(P)$$

O efeito da Reprodução sobre o número de schemata é qualitativamente claro; os schemata acima da média desenvolvem-se e os schemata abaixo da média morrem. Restamos agora tentar entender "como esses schemata" são desenvolvidos. Para isso, consideremos que um particular schema  $E$  tenha se mantido acima da média com uma taxa "c" constante  $f(E, P) = c * f_m$ . Desta forma, podemos reescrever a equação de diferença de schema como segue:

$$\begin{aligned}
 m(E,P,t+1) &= m(E,P,t) * (f'_m + cf'_m) / f'_m \\
 &= (1+c) * m(E,P,t)
 \end{aligned}$$

Começando com  $t=0$ , obtemos:

$$m(E,P,t) = m(E,P,0) * (1+c)^t$$

O efeito da reprodução não é quantitativamente claro; afinal é bom ou é ruim que a reprodução aloque um número de teste com crescimento (decréscimo) exponencial para schemata acima-(abaixo) da média? Diversas demonstrações matemáticas procuram demonstrar que, na maioria dos casos, esta progressão se aproxima razoavelmente bem do ótimo.

Para o processo de seleção, sabe-se que a probabilidade de um determinado indivíduo ser selecionado é proporcional ao seu grau de adaptação. A probabilidade de um esquema ser selecionado depende então do grau da adaptação do padrão representado pelo schema (que é dado pela média dos indivíduos que o representam) multiplicado pelo número desses indivíduos.

Assim, se a população tem  $m$  indivíduos com o esquema  $E$ , pode-se esperar que  $m'$  indivíduos com  $E$  sejam selecionados para reprodução, onde  $m'$  é definido como:

$$m' = \frac{m \times f(E,P)}{f(P)}$$

#### ☛ Crossover

Define-se *ordem de um schema*  $E$ , denotado por  $o(E)$ , como o número de posições fixadas. Em  $E = *11*0**$  temos  $o(E) = 3$ , correspondendo aos dois "1" e ao "0". Define-se *comprimento de um schema*  $E$ , denotado por  $\delta(E)$ , como a distância entre a primeira e última posição da palavra e especificada. Em  $E = *11*0**$  temos o primeiro "1" ocupando a posição dois e o último "0" ocupando a posição cinco; logo  $\delta(E) = 5 - 1 = 4$ .

Para entender melhor como os schemata são afetados pelo crossover, consideremos uma palavra de comprimento  $l = 7$  e dois schemata representativos,

```

A = 0 1 1 1 0 0 0
E1 = * 1 * * * * 0
E2 = * * * 1 0 * *

```

Suponha que o corte seja entre a posição 3 e 4, logo:

```

A = 0 1 1 | 1 0 0 0
E1 = * 1 * | * * * 0
E2 = * * * | 1 0 * *

```

Enquanto o primeiro schema foi destruído pelo crossover, o segundo sobreviveu. Evidentemente que a sobrevivência ou morte de um schemata pelo crossover está ligada ao  $\delta(E)$ . Quanto maior o comprimento, maior a chance de destruição.

Se a posição do crossover for selecionada uniformemente com aleatoriedade entre as  $l - 1 = 7 - 1 = 6$  posições, então claramente o schema  $E_1$ , é destruído com probabilidade  $p_d = \delta(E_1) / (l - 1) = 5/6$  (logo a probabilidade de sobreviver  $p_s = 1 - p_d = 1/6$ ).

Da mesma forma o esquema  $E_2$ , que tem comprimento  $\delta(E_2) = 1$ , só será destruído quando o corte for selecionado entre as posições 4 e 5 tal que  $p_d = 1/6$ , ou seja, a probabilidade de sua sobrevivência é de  $p_s = 1 - p_d = 5/6$ .

$$p_s \geq 1 - p_c * \delta(E) / (l-1)$$

Relacionando seleção e crossover, pode-se estabelecer a expressão que estima quais esquemas tendem a sobreviver ao processo genético. Esta expressão consiste simplesmente em multiplicar o número esperado de esquemas na população seguinte (dado acima por  $m'$ ) pela probabilidade de sobrevivência do esquema em relação ao crossover. Seja então:

$$m' \geq m \times \frac{f(E, P)}{f(P)} \times \left( 1 - p_c \times \frac{\delta(E)}{l-1} \right)$$

Usou-se aqui uma inequação e não mais uma igualdade, porque o processo de crossover pode eventualmente restabelecer um esquema a partir de dois indivíduos que não o possuíam. Obviamente, se a probabilidade de ocorrência de crossover for igual a 1.0, então a última equação se reduz à anterior.

#### ☞ Mutação

Com relação à mutação, pode-se considerar uma probabilidade de mutação  $p_m$  para cada bit da cadeia. Para um esquema sobreviver, todos os seus bits de interesse devem sobreviver. Se a probabilidade de sobrevivência de cada bit é  $1 - p_m$ , então a probabilidade de sobrevivência de uma esquema é uma potência relativa à ordem do esquema:

$$(1 - p_m)^{o(E)}$$

Para valores muito pequenos de  $p_m$ , a probabilidade de sobrevivência do esquema pode ser aproximada por:

$$1 - o(E) \times p_m$$

Pode-se concluir, então, que um determinado esquema produz um número de cópias  $m'$  na geração seguinte, após passar por seleção, crossover e mutação, dada por:

$$m \geq m \times \frac{f(E, P)}{f(P)} \times \left( 1 - p_c \times \frac{t(E)}{l-1} - \alpha(E) \times p_m \right)$$

Este último resultado mostra que os schemata cuja avaliação fica acima da média da população crescem exponencialmente, em quantidade, a cada iteração do algoritmo genético, enquanto que os schemata abaixo da média decrescem na mesma proporção. Esta conclusão é conhecida como o *Teorema Fundamental dos Algoritmos Genéticos*.

Um quadro relativo ao desempenho dos algoritmos genéticos fica bem mais claro quando analisamos o problema acompanhando o crescimento ou destruição dos schemata. Podemos imaginar que temos verdadeiros 'blocos de construção' com os quais vamos construindo a solução. Esses blocos correspondem a schemata curtos e de baixa ordem.

Em vez de construirmos palavras cada vez melhores; no sentido de se aproximarem do objetivo, formulando todas as combinações possíveis; o que recairia num problema de enumeração, o que se usa são os 'blocos de construção' mais apropriados, os que forneceram as melhores soluções em amostragens anteriores.

Podemos imaginar esses 'blocos de construção' como sendo 'noções' que se unem para formular 'idéias' melhores.

Outra forma de se analisar os algoritmos genéticos é através da geometria. Para compreendermos melhor este tipo de análise vamos trabalhar com palavras de 3 bits. Nessa representação, pontos correspondem a palavras ou schemata de ordem 3, retas correspondem a schemata de ordem 2, planos representam schemata de ordem 1 e todo o espaço pode ser visto como um schemata de ordem 0.

Generalizando esses resultados podemos visualizar os schemata como hiper planos de variadas dimensões num espaço n-dimensional e um Algoritmo Genético buscando, através de cortes por esses hiper planos, uma solução otimizada.

### 7.2.1.3 Sistemas Classificadores

Pode-se usar algoritmos genéticos em aprendizagem de máquina. A aplicação mais direta nesta área são os *sistemas classificadores*. A forma mais simples de sistema classificador utiliza cadeias de bits representando possíveis características das entradas e saídas do sistema. Estas cadeias funcionam como regras de produção do tipo "se-então".

O sistema consiste de uma população, inicialmente aleatória, de cromossomas que representam regras. As regras se constituem de duas partes:

- ⊙ *Entradas*. As entradas são posições na cadeia de bits que detectam a presença ou ausência de uma determinada característica no objeto observado. Se todas as entradas forem satisfeitas, a regra pode ser ativada.

⊙ *Saídas*. As saídas são ações que podem ser executadas. Estas ações só serão executadas se as condições das entradas forem todas satisfeitas.

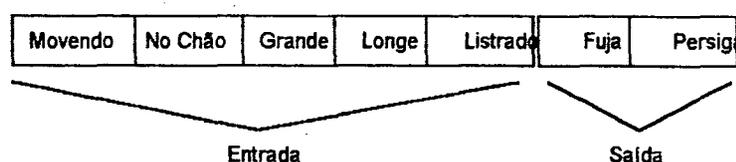
Tanto as entradas quanto as saídas podem ter posições que representam características sem interesse para a regra. Estas posições serão marcadas pelo símbolo #. Uma *regra*, então, é composta por uma cadeia de bits sobre um alfabeto ternário  $\{0, 1, \#\}$ , e não mais sobre um alfabeto binário como nos algoritmos genéticos simples.

Dada uma população de regras deste tipo, pode-se testá-las sucessivamente. As regras que produzem bons resultados tem seu fitness aumentado enquanto que as que produzem maus resultados tem o fitness diminuído. A medida que se tornar necessário as regras com fitness baixo são substituídas por outras, formadas a partir de seleção, crossover e mutação.

O algoritmo genético simplificado, contém um modelo de população onde se seleciona e substitui completamente a nova população a cada geração. Isto geralmente não é desejável em aprendizagem de máquinas. Neste caso, é necessário manter um alto nível de desempenho, ou seja, manter as regras boas e testar novas regras quando o desempenho não for suficiente.

O mecanismo de sistemas classificadores será apresentado através de um exemplo. Um sistema classificador para emular as ações de um sapo, por exemplo, poderia conter regras que reagem aos objetos que o sapo vê. Dependendo do movimento, tamanho, e outros atributos, o sapo pode perseguir, fugir ou ignorar o objeto.

O sistema de reações deste sapo pode possuir várias cadeias, sendo que cada uma delas representa uma certa regra situação/ação que ele pode aplicar. As entradas correspondem aos estímulos do meio e as saídas às ações que podem ser tomadas. Uma forma possível para estas cadeias seria:



A partir desta forma, pode-se imaginar regras como as seguintes, onde 0 significa "não", 1 significa "sim" e # significa "não interessa":

*Se o objeto esta se movendo, fuja:*

1	#	#	#	#	1	0
---	---	---	---	---	---	---

*Se o objeto se move no ar e e pequeno e próximo, então persiga:*

1	0	0	0	#	0	1
---	---	---	---	---	---	---

Se o objeto se move no ar, e pequeno, esta próximo e e listrado, então não faça nada:

1	0	0	0	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---

As três regras acima podem ser ativadas para o mesmo objeto. Neste caso, a regra com o menor número de #'s deve ser selecionada. Este tipo de mecanismo possui embutido o raciocínio da *lógica default* (6). Ou seja, o sistema usa a regra mais específica de acordo com as informações que possui. Se o objeto está se movendo o sapo foge. Se, em seguida ele descobre que o objeto é pequeno e está no ar, então a primeira regra, apesar de poder ser ainda ativada, dá lugar à segunda, que é mais específica. E assim por diante.

#### 7.2.1.4 Algoritmos Genéticos Construtivistas

A aprendizagem de máquina baseada em algoritmos genéticos fornece uma metodologia para se construir modelos construtivos de processos comportamentais. Eles fornecem uma estrutura adaptativa, a qual é modificável com o feedback originado do ambiente em processo de mudança. A literatura recente reporta um número de aplicações com sucesso de GBML para uma grande variedade de problemas. Soluções obtidas por GBML são, freqüentemente, melhores que aquelas obtidas por abordagens tradicionais.

Existem quatro características que tomam um problema dado tratável por meio de Algoritmos Genéticos: Primeiro, problemas que possam ser descritos como uma seqüência de movimentos (contexto/ação/resultado); segundo que essa seqüência de movimentos convirja para um estado final (objetivo do organismo), enquanto todos os estados possam ser comparados em termos da contribuição que representam para o atingimento de um certo objetivo (critério de distância); terceiro, movimentos que tenham contribuído para o alcance de um dado resultado devem ser identificados e, finalmente, créditos para bons resultados devem poder ser atribuídos a esses movimentos contribuintes.

Processos evolutivos lidam com populações de indivíduos. Classificadores tem a forma " $c=<condição>:<mensagem>$ ", e são usado para modelar uma reação individual de resposta,  $<mensagem>$ , a um estímulo que satisfaça uma determinada  $<condição>$ . Quando um estímulo encontra uma condição de um classificador nós dizemos que o classificador foi disparado. A mensagem resultante pode, por sua vez, agir como um estímulo disparando outros classificadores.

Quando trabalhamos com pares de classificadores o primeiro fornece o estímulo que dispara o segundo,  $\{<condição_1>:<mensagem_1>;<condição_2>:<mensagem_2>\}$ . Chamamos ao primeiro de *predecessor* e ao segundo de *sucessor*. Populações de pares de classificadores desse tipo são chamadas de *lojas de classificadores*. Para cada par de classificadores pode-se associar um valor de adaptação de acordo com seu desempenho no processo evolucionário que é normalmente medido pelo frequência com que aparece numa cadeia capaz de conduzir ao resultado final desejado.

Observe-se a semelhança dessa estrutura de classificadores com os esquemas propostos por Piaget. A analogia entre contexto/ação/resultado e um par de classificadores condição/mensagem é imediata. Dada uma condição, definida por um contexto e uma ação, obtém-se uma mensagem que nada mais é do que o resultado que se espera obter do mundo exterior. Por esse esquema pode-se modelar a resposta real do mundo como o segundo elemento do par de classificadores. O mecanismo de equilibrações, nessa modelagem vai funcionar como um construtor de uma cadeia tal de esquemas intermediários / respostas intermediárias do mundo acabam por conduzir, de um contexto inicial, ao resultado desejado pelo organismo.

Operações Genéticas são o ponto crucial do método como um todo; elas são responsáveis pela sua construtividade e permitem a simulação de mecanismos competitivos controlando a sobrevivência dos mais fortes. Uma estrutura simples de pares de classificadores utiliza, como vimos, somente três dos componentes do repertório existente de operadores genéticos. O Operador Reprodução copia parte de uma população. A chance de um indivíduo pertencente a velha população ser reproduzido na nova população é proporcional ao grau de adaptação do indivíduo. Esta nova população se constitui no 'grupo de pais' e cada par de classificadores individualmente é chamado de 'pai'. O Operador Crossover transforma pais em dois novos pares de classificadores (filhos). Pais são amostrados no grupo. Conseqüentemente, pais bem adaptados têm uma melhor chance de produzir filhos. Os pares de classificadores filhos são obtidos pela troca aleatória de partes dos seus pais. O Operador Mutação transforma um par de classificadores alterando realizações selecionadas (genes), de forma aleatória, sem manter o original.

Pares de classificadores na loja novamente gerada devem competir pela sobrevivência. Esta competição é simulada pelo disparo dos mesmos. Qualquer par de classificadores disparados melhora o seu grau de adaptação. Neste ponto aplicam-se os operadores genéticos levando-se em conta os valores atualizados para esse grau de adaptação. Esta competição pela sobrevivência se constitui em um *ciclo*.

Para garantir a construtividade, uma técnica consiste em representar atributos que ainda não foram discutidos pelo uso do símbolo "#". O papel do símbolo # é bem diferente do \* que, tradicionalmente, representa um 'don't care'. Pode-se imaginar que esses "#" correspondam a partes da cadeia genética que vão ainda ser programados de acordo com a experiência do organismo diante das mudanças que se operam no mundo, numa visão interacionista que resgata a velha dialética entre o lamarckismo e o darwinismo e que está de acordo com as idéias piagetianas. (Piaget, 1973).

Nem todos os pares de classificadores correspondem, necessariamente, a situações realísticas. Por exemplo, considere o par de classificadores {<3###:0###>:<2###:1###>} em que <3###:0###> representa, por exemplo, que se eu estou negociando com outra pessoa o preço de uma mercadoria, essa pessoa aspira receber 3 unidades monetárias e que eu desejo obter a mesma de graça e que <2###:1###> significa que, se esse for o caso, então o vendedor vai se contentar em baixar o seu nível de aspiração para 2 e eu vou me dispor

a pagar 1 unidade monetária pela mercadoria. Evidentemente que existem pares de classificadores que, nesta modelagem, não tem nenhum sentido. Por exemplo  $\{ \langle 3###:0### \rangle : \langle 0###:1### \rangle \}$ . Se existe em um classificador pelo menos um atributo para o qual o nível de aspiração do que deseja é maior que o nível correspondente do que oferece, o classificador é dito *não factível*, caso contrário é dito *factível*.

Qualquer par "ação do organismo (ação dentro de um contexto) - resultado", deve ser casado com todos os outros classificadores. Todos os classificadores  $c = \langle p, s \rangle : \langle p', s' \rangle$  disparam uma mensagem  $\langle p', s' \rangle$  as quais são interpretadas como as próximas propostas em potencial. Cada uma dessas mensagens continua disparando. Um par de trajetórias que ajuste os desejos do organismo às restrições do ambiente que terminem no primeiro ponto comum é chamada de trajetória de compromisso  $x_k = (p_k, s_k)$ . O ponto final em comum de ambas as trajetórias é chamado de compromisso. Trajetórias de compromisso descrevem ajustes bem sucedidos.

Para cada classificador em cada trajetória de compromisso nós atribuímos uma unidade de 'adaptação'. Portanto, se um classificador "c" contribui para diferentes trajetórias de compromisso a ele é atribuído um grau maior que vai representar a frequência de ocorrência de "c" em trajetórias que conduzem a compromissos.

O problema portanto, é o de encontrar o caminho que mais freqüentemente conduz ao sucesso. A existência de uma solução é óbvia, bastaria percorrer exaustivamente todos os caminhos e selecionar os classificadores mais ajustados. Apesar disso, a construção desta solução é computacionalmente intratável. Para um problema com quatro atributos, cada um correspondendo a quatro níveis de aspiração o espaço de busca total de todos os classificadores corresponderia, aproximadamente, a  $256^4 = 4,3 * 10^9$  elementos. Dado que nós permitimos somente sequências ordenadas monotonamente e que existem 35 dessas sequências o espaço de busca pode ser reduzido para  $35^4 = 1\ 500\ 625$  classificadores. Levando em consideração algumas degenerações, chegamos ao número de  $1,4 * 10^6$  classificadores factíveis.

A fim de lidar com um espaço de busca gerenciável computacionalmente, deve-se confiar que uma amostra de classificadores que representem o espaço de busca sejam capazes de convergir para uma solução. Esta amostra é modificada construtivamente por meio de operações genéticas. Para este fim geralmente são introduzidas operações genéticas específicas, adequadas para cada problema que se tem a mão.

Na discussão que se segue descrevemos um processo limitado ao caso em que os símbolos # ocorrem apenas nos movimentos feitos pelo organismo no sentido de atingir o seu objetivo. O mesmo processo poderia ser aplicado às restrições impostas pelo meio ambiente.

Consideremos a situação na qual, em um classificador

$$c = \langle p(1)p(2)p(3)p(4), s(1)s(2)s(3)s(4) \rangle : \langle p'(1)p'(2)p'(3)p'(4), s'(1)s'(2)s'(3)s'(4) \rangle$$

existe uma posição  $u$ ,  $u \in \{1, \dots, 4\}$  tal que exatamente um dos níveis de aspiração  $p(u)$  e  $p'(u)$  tem valor  $\#$ . Tal posição  $u$  é então denominada de  $\#$  incompatível e o atributo correspondente do organismo (ou  $p(u)$  ou  $p'(u)$ ) é denominado branco. Se não há posições  $\#$  incompatíveis no classificador a operação de crossover, como definida anteriormente pode ser estendida sem qualquer modificações a classificadores que contenham valores  $\#$ .

Por outro lado, o crossover de classificadores que tenham posições  $\#$  incompatíveis resultariam em classificadores para os quais uma das partes traz para discussão um atributo ignorado pela outra parte. A fim de lidar com essa inconsistência, introduzimos o processo que ativa atributos  $\#$  incompatíveis.

Se  $u$  é uma posição de um atributo  $\#$  incompatível então nós atribuímos o mais baixo nível de aspiração a  $u$ -ésima posição do branco.

$x(1)x(2) \# x(4)$	$x(1)x(2) \# x(4)$
$y(1) \# \# y(4)$	$y(1)y(2) \# y(4)$

$p(1)p(2)\#\#p(4)$	$s(1)s(2)\#\#s(4)$	$p'(1)p'(2)\#\#p'(4)$	$s'(1)s'(2)\#\#s'(4)$
$p(1) \#\# \#\#p(4)$	$s(1) \#\# \#\#s(4)$	$p'(1) \#\# \#\#p'(4)$	$s'(1) \#\# \#\#s'(4)$

$p(1)p(2)\#\#p(4)$	$s(1) \#\# \#\#s(4)$	$p'(1)p'(2)\#\#p'(4)$	$s'(1)s'(2)\#\#s'(4)$
$p(1) 11 \#\#p(4)$	$s(1) 00 \#\#s(4)$	$p'(1) 11 \#\#p'(4)$	$s'(1) 00 \#\#s'(4)$

Os classificadores filhos representam uma regra nova, recém criada. Neste ponto, a contribuição da regra é examinada. Dois casos devem ser discutidos. O primeiro ocorre quando o filho já pertence a alguma trajetória de compromisso. Este fato, por si, prova a utilidade deste classificador. No segundo caso, se o filho (agora chamado de gerador) não pertence a qualquer trajetória de compromisso existente, então uma trajetória de compromisso acessória é gerada, na qual este classificador é incluído. Elementos da trajetória acessória outros que os filhos criados pelo crossover são chamados *preenchedores*. Preenchedores herdam a fitness de seu gerador, possivelmente com um fator multiplicativo.

A operação de mutação altera os classificadores. Uma posição  $q$ ,  $q \in \{1, \dots, 4\}$ , de um atributo constante de uma oferta é amostrado. Se  $q$  denota uma posição de atributo tal que  $x(q) = \#$ , então  $x(q)$  é ativado (da mesma maneira que no crossover). De outra forma, o operador de mutação não tem nenhum efeito.

Devido a esta interpretação, o operador de mutação é chamado de *ativação*. O procedimento de ativação torna possível lidar com novos conceitos. O operador de ativação como definido aqui é um exemplo de Transformação Genética de Domínio Específico.

### 7.2.1.5 Conclusão

Não era nossa pretensão aqui cobrir todas as aplicações e formas de se trabalhar com os algoritmos genéticos. A idéia foi a de definir a ferramenta e demonstrar algumas maneiras pelas quais a mesma poderia ser empregada para representar os esquemas sensório-motores, do tipo <contexto:ação:resultado>; como empregá-los para construção das classes dentro já de um raciocínio simbólico e como os mesmos podem ser úteis para representar as interações de um organismo com outras entidades do mundo em que habita. A busca por um caminho de compromisso serve, por exemplo, para modelar o próprio mecanismo de equilibração, no qual a partir de um par de classificadores que refletem a dialética <desejo do organismo: realidade dentro do micro-cosmos em que habita> cadeias de esquemas são acionadas, novos esquemas são construídos até que ocorra uma acomodação pela qual o organismo possa se adaptar as realidades sempre novas do meio ambiente que o cerca. A Teoria das mutações neutras de Kimura parece se adaptar melhor a esse modelo do que a teoria clássica da evolução.

### 7.2.2 Redes Neurais

A arquitetura geral de uma rede neuronal é mostrada na figura abaixo. Existem uma ou mais entradas que são denominadas 'neurônios de entrada' que, na verdade, simplesmente apresentam, na saída um valor igual ao apresentado. Esses neurônios hipotéticos não executam nenhum processamento não passando de um construtor semântico usado para representar uma amostra das energias presentes.

A arquitetura provê a existência de um ou mais neurônios de saída, geralmente muito poucos, que representam a resposta da rede aos dados do mundo. Diferentemente dos de entrada os neurônios de saída são bastante reais. Cada neurônio de saída aceita entradas que tanto podem advir de outros neurônios como diretamente do mundo exterior, processam essas entradas e produzem uma saída.

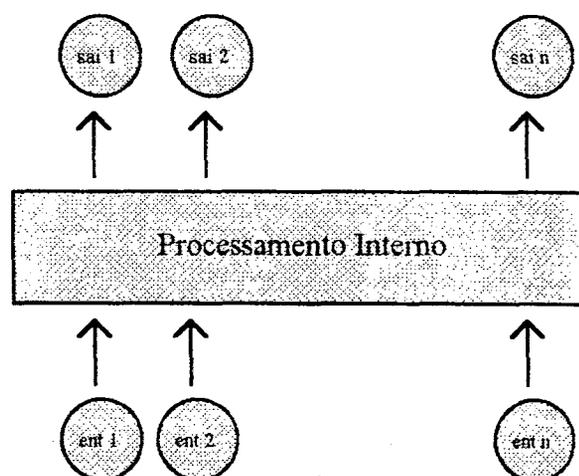


Figura 7.24 Estrutura neuronal básica

A caixa preta define o tipo de rede. Alguns modelos conectam diretamente as entradas às saídas, omitindo-as. Todo o processamento, nesse caso, é executado pelos neurônios de saída. Outros modelos permitem que os neurônios de saída se conectem uns com os outros da mesma forma que com os pertencentes à camada anterior e, finalmente, em alguns casos, não se distinguem neurônios de entrada e de saída. Através de um processo de relaxamento de rede, passam de neurônios primários no início do processo quando os dados do mundo lhes são apresentados a neurônios de saída após a estabilização da rede.

Um *neurônio artificial* é, essencialmente, um conjunto de entradas e uma função que determina uma saída. O conjunto de entradas pode representar informações vindas do ambiente ou saídas de outros neurônios. Cada entrada tem um peso associado, que corresponde à força de cada estímulo em relação à saída do neurônio.

O conjunto de estímulos de entrada, rotulado como  $x_1, x_2, \dots, x_n$  é aplicado ao neurônio. Pode-se denotar este conjunto como um vetor, escrevendo:  $X$ . Os pesos associados a cada entrada podem ser denotados como  $w_1, w_2, \dots, w_n$ , ou como um vetor  $W$ .

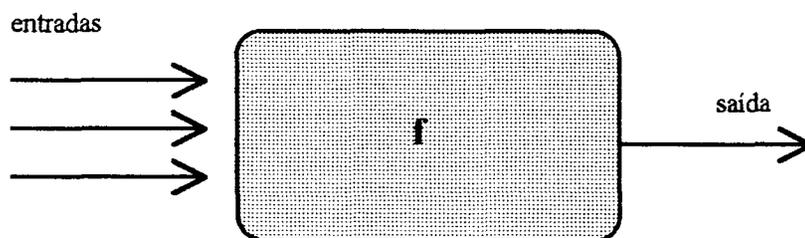


Figura 7.25 Neurônio artificial

Em muitos modelos, o nível de excitação do neurônio corresponde à soma ponderada dos valores de entrada, ou seja, o somatório dos pesos multiplicados pelas entradas. Se este valor for denotado por  $Z$ , pode-se escrever a seguinte fórmula:

$$Z = W \bullet X = w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n$$

O valor  $Z$  é freqüentemente processado por uma função  $f$ , para produzir a saída correspondente do neurônio. Um simples neurônio é capaz de desempenhar reconhecimento de padrões simples. Mas o poder de computação é grandemente incrementado quando ligados em rede.

O conjunto de entradas  $X$  tem cada um de seus elementos conectados a um neurônio artificial com um peso específico  $w_{ji}$ , onde  $i$  denota o elemento de entrada e  $j$  o neurônio artificial. É conveniente considerar os pesos como sendo uma matriz  $W$ . A matriz teria  $n$  linhas por  $m$  colunas, onde  $n$  é o número de entradas e  $m$  é o número de neurônios. Desta forma, o vetor de níveis de excitação  $Z$  seria formado a partir de uma simples multiplicação de matrizes:  $Z = X \times W$ , onde  $Z$  e  $X$  são vetores linha.

O vetor de resultados da rede  $Y$  é formado a partir da aplicação da função  $f$  a cada um dos elementos de  $Z$ .

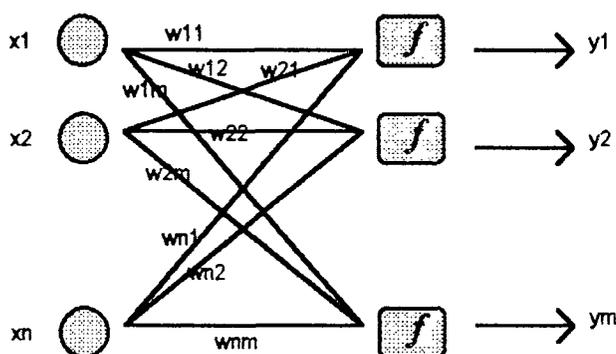


Figura 7.26 Exemplo simples de rede neuronal

Uma rede neuronal é usualmente treinada de duas maneiras distintas: supervisionado e não supervisionado. No treinamento supervisionado muitas amostras, que vão servir como exemplares, são coletadas, definindo entradas e saídas que devem ser obtidas quando essas entradas forem apresentadas à rede. Os pesos que conectam cada neurônios na rede são ajustados para minimizar o erro entre a saída desejada e a saída obtida na rede. No treinamento não supervisionado assume-se que cada entrada se origina de uma classe pertencente a um conjunto de classes e que a saída da rede identifica a que classe pertence o exemplar de entrada. Existe um terceiro tipo de treinamento, denominado 'reforço de aprendizagem' que não é supervisionada na medida em que as saídas desejadas não são especificadas a priori. Ao mesmo tempo é supervisionada, na medida em que a rede é informada se a resposta que forneceu a um determinado padrão de entrada é 'boa' ou 'má'.

Seria tolice treinar uma rede e colocá-la imediatamente em uso sem se empregar nenhum método de validação. O procedimento usual é o de se separar casos conhecidos em dois conjuntos disjuntos. Usa-se o primeiro como conjunto de treinamento e o segundo como conjunto de validação.

### 7.2.2.1 Aplicações das Redes Neurais

#### 7.2.2.1.1 Redes neurais utilizadas para classificação

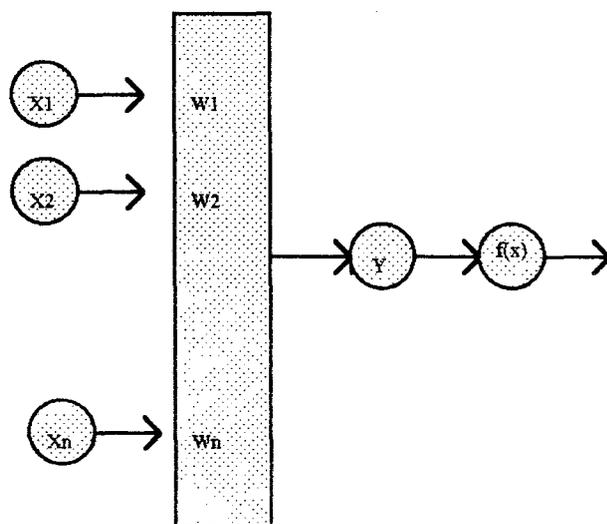
O problema mais simples de classificação é aquele que envolve uma decisão binária, o de se saber, por exemplo, se um copo de cristal, conduzido por uma esteira dentro da fábrica, deve ser aceito ou rejeitado. A escolha entre duas classes não é uma decisão binária posto que o elemento pode pertencer a classe A, a classe B ou a nenhuma das classes.

O interesse em redes simples é devido a capacidade que essas estruturas apresentam de reconhecer padrões. Um perceptron que decide se uma entrada pertence ou não pertence a uma classe é mostrado na figura. Não é necessário mais do que um neurônio de saída para se representar essa decisão. A rede é treinada para produzir um nível de ativação alto para uma decisão e baixo para a outra.

Quando a rede treinada é testada com uma amostra desconhecida a decisão é tomada em função da saída obtida que, devido a função logística (esse é o nome que se dá a esse tipo de função) nunca é 0.0 ou 1.0. Se o resultado está acima de um limiar dizemos que um nível alto de ativação foi obtido e fazemos a escolha correspondente.

Uma técnica para se analisar o comportamento das redes consiste em traçar as regiões de decisão criadas no espaço multi-dimensional pelas variáveis de entrada. Estas regiões de decisão especificam quais valores de entrada resultam numa decisão ou em outra.

O perceptron de 1 camada forma duas regiões de decisão separados por um hiperplano. Rosenblatt provou que se as entradas apresentadas são linearmente separáveis, então o procedimento para treinar uma rede de uma única camada converge e coloca um hiperplano entre as duas decisões. Um problema com tal procedimento ocorre quando as entradas não são mais linearmente separáveis, como é o caso do problema lógico associado ao 'ou exclusivo'.



$$Y = \sum X_i W_i \text{ e } f(x) \text{ geralmente tem a forma de } 1/(1+e^{-x})$$

Figura 7.27 Rede classificadora binária

Um modelo que permite classificação múltipla não permite apenas que se classifique as entradas nas diversas alternativas possíveis mas possibilita, ainda, uma tomada de decisão que implica na 'rejeição', não pertence a nenhuma das classes. A melhor maneira de implementar tais modelos consiste em destinar um neurônio de saída para cada classe. Uma saída alta implica que a classe está presente. O treinamento é tal que, quando isso acontece, os outros neurônios de saída apresentam baixo nível de ativação. Se todos os neurônios estiverem 'off' isso é interpretado como uma 'rejeição'.

Quando casos desconhecidos são apresentados à rede treinada, a regra de decisão implementada computacionalmente é tal que: Se todas as saídas são baixas, a amostra é rejeitada e caso contrário atribui-se a amostra à classe que apresentou maior nível de ativação. Em caso de empate escolhe-se de forma aleatória.

Existem problemas que sugerem uma outra forma de codificação onde, por exemplo, as categorias têm, entre si, alguma forma de relação de ordem (ruim, bom, ótimo) ou quando a classe é definida por mais de um aspecto (tipo de sangue). No caso de classificação sanguínea, por exemplo, é mais lógico se ter três neurônios associados aos três fatores que compõem a classificação, ou seja, um neurônio que diz se o sangue é do tipo A, outro se é do tipo B e um terceiro que determina o fator Rh.

Uma rede que queira 'ouvir um som' e, a partir daí, decidir se a articulação inicial é palatal, se é articulado a partir da língua ou dos lábios, se a continuação é nasal ou não poderia ser codificada com quatro neurônios de saída em vez de seis, três para a articulação e um para a continuação.

#### 7.2.2.1.2 Redes neuronais utilizadas para auto-associação

Quando uma rede neuronal tem exatamente tantos neurônios de entrada quanto os de saída e a rede é treinada para reproduzir na saída os dados apresentados na entrada dizemos que essa rede é auto-associativa. A principal utilização desse tipo de redes é na filtragem de erros e em completar padrões, por exemplo, uma foto ruim ou uma comunicação incompleta.

Uma das virtudes desse tipo de redes é que é possível, a partir de uma amostra com exemplos imperfeitos de um determinado padrão, aprender a construir os padrões protótipos.

#### 7.2.2.1.3 Redes neuronais utilizadas para predições de séries temporais

A predição de valores futuros de uma série temporal é um problema extremamente comum. Qualquer rede neuronal que seja capaz de aceitar vetores com valores reais como entrada e produzir valores reais como saída pode ser usado para esse tipo de predições.

A figura abaixo demonstra o uso de  $n$  pontos contíguos numa série temporal para predizer o valor associado ao ponto  $(n+1)$ . Emprega-se uma série de treinamento de  $m$  pontos  $m \gg n$  e, a partir dessa, geram-se um grande número de amostras de  $(n + 1)$  elementos. Cada amostra para o modelo consiste de um valor atual e  $(n-1)$  valores históricos. A rede é ajustada para que o valor de saída coincida com o valor  $(n+1)$ . Um aspecto vital no processamento de séries temporais consiste na necessidade de se eliminar tendências e variações sazonais. Eliminando tendências que são facilmente predizíveis e podem ser adicionadas posteriormente libertam a rede para um processamento em maior profundidade. A sazonalidade pode provocar uma concentração em aspectos lineares quando o que realmente se pretende é explorar a característica não linear das redes neuronais.

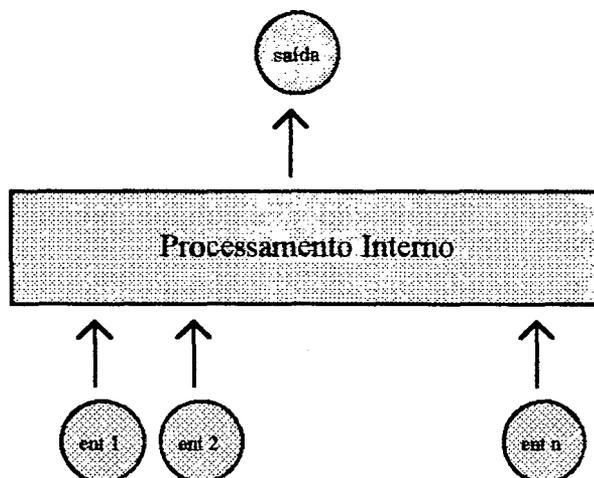


Figura 7.28 Exemplo de uma rede simples para previsão

Os sistemas mais simples capazes de previsão se utilizam de dados tirados de uma única série temporal. Isto pode ser estendido utilizando-se dados de diversas séries temporais diferentes. Previsões múltiplas são possíveis mas os resultados obtidos questionáveis.

Uma empresa de energia elétrica, por exemplo, pode estar interessada em saber qual a potência instalada que será necessária para atender o consumo do próximo ano. Para isso se utiliza de uma série temporal que contém os padrões de consumo das últimas décadas. Outro problema, dentro de uma sala de controle, é saber qual a potência que será necessária na próxima hora. Se eu utilizar a mesma série para ambas as previsões obterei, obviamente, melhores resultados para as previsões anuais do que para as previsões horárias. Geralmente preferem-se séries temporais independentes.

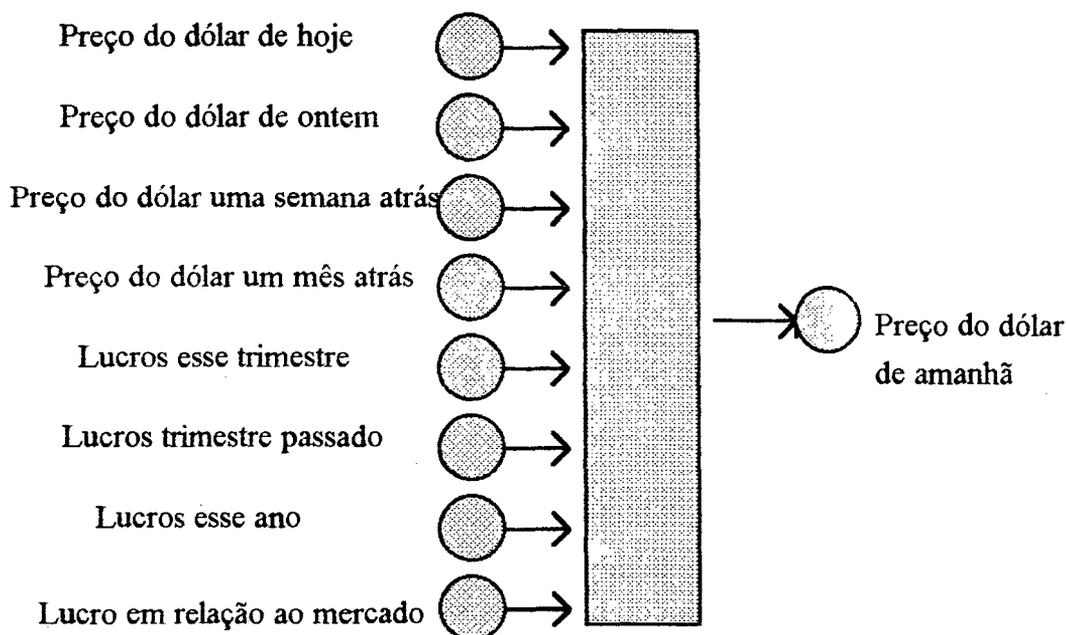


Figura 7.29 Uma rede neural para previsão do preço do dólar

#### 7.2.2.1.4 Redes neuronais utilizadas para aproximações de funções

Em essência, redes neuronais são aproximadoras de funções que mapeiam valores na entrada a outros que aparecem na saída do dispositivo. Classificação, associação e predições dentro de séries temporais são formas especiais de aproximações de funções. O que se enfoca, no entanto, sob esse tópico, consiste na aproximação de funções que tem como domínio e contra domínio o conjunto dos vetores de valores reais.

O problema a ser resolvido consiste em: dados alguns pontos pertencentes a uma função desconhecida, calcular o resultado desta função em um ponto qualquer. Testes empregando a função de gauss, um exemplo clássico, mostram que as redes neuronais se constituem numa excelente arma para resolução desse tipo de problema.

Vamos supor que temos um vetor real  $X$  que descreve uma determinada condição, um tipo de tremor de terra por exemplo, ou uma estrutura atômica ou uma forma sólida. Por causa deste contexto  $X$  um resultado  $Y$  é produzido.  $Y$  pode ser o registro de uma onda de choque, uma difração de raio  $x$  ou um eco de radar.

Vamos assumir que possuímos um modelo  $m$  que nos permite prever  $Y$  para qualquer vetor  $X$  que se apresenta:

$$y = m(x)$$

A técnica consiste na coleta de um conjunto representativo de vetores  $X$  e aplicar o modelo a esse conjunto. Se estamos diante de um modelo estocástico tal que  $Y$  possa não ser unicamente determinado para um dado  $X$ , devemos replicar cada  $X$  até gerar múltiplas amostras de  $Y$ . Os vetores  $X$  e  $Y$  obtidos são então empregados como conjunto de treinamento de uma rede neuronal.

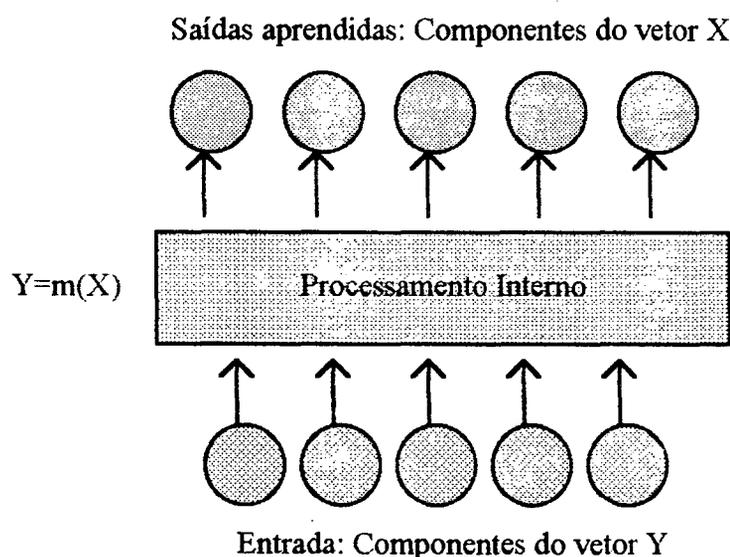


Figura 7.30 Rede neuronal para aproximação de funções

A regressão múltipla é uma técnica estatística padrão pela qual uma ou mais variáveis independentes são usadas para prever uma única variável dependente. Por exemplo, se tivermos  $n$  variáveis independentes,  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , e uma variável dependente  $Y$ , temos que:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i$$

O problema da técnica de regressão é que, quanto mais afastado dos paradigmas de linearidade, maior o erro que se comete. Redes neurais de múltiplas camadas, se mostram excelentes, como técnicas de caos que são, para lidar com relações complexas não lineares. Se qualquer das não linearidades é conhecida redes neurais com enlace funcional podem ser empregadas para melhorar a aprendizagem.

### 7.2.2.2 Redes neurais de múltiplas camadas sem retroalimentação

Uma rede de múltiplas camadas é uma rede com uma ou mais camadas de neurônios entre a entrada e saída de rede. Estas camadas adicionais são denominadas camadas ocultas. O termo sem retroalimentação significa que a informação flui em apenas uma direção

Um perceptron de quatro camadas com três neurônios nas camadas ocultas é mostrada na figura abaixo. Perceptrons de múltiplas camadas resolvem várias limitações dos perceptrons de uma única camada, não sendo usados no passado pela falta de algoritmos eficazes para o treinamento da rede. Ainda não se provou que estes algoritmos convergem como no processo de treinamento de perceptrons de uma camada. Apesar disso, redes desse tipo tem-se mostrado bastante poderosas na solução da maioria dos problemas.

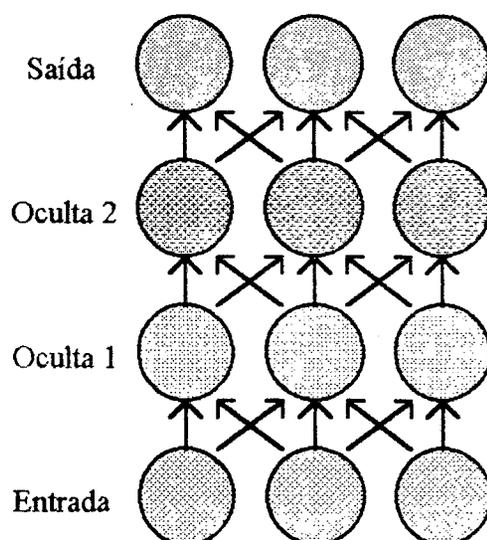


Figura 7.31 Rede neural de quatro camadas sem retroalimentação

Os neurônios da primeira camada são 'hipotéticos' na medida em que a entrada é definida pela entrada da rede e que não executam nenhum tipo de processamento. Cada neurônio das demais camadas da rede funciona de acordo com a fórmula  $saída = f(\text{total das entradas})$ . Essas entradas vêm das camadas anteriores e suas saídas vão alimentar a entrada da camada seguinte.

O comportamento da rede é determinado pelos pesos que conectam os neurônios de uma camada com os da camada seguinte e que podem ser associados à força ou intensidade das ligações sinápticas, numa metáfora biológica..

$$saída = função(\text{total das entradas}) = f\left(\sum_{i=0}^{n-1} x_i w_i + w_n\right)$$

A função de ativação é não linear e, quando aplicada ao somatório ponderado das entradas (vide fórmula), determina a saída daquele neurônio. O domínio destas funções é ilimitado e o contra domínio tal que limita a saída dos neurônios a um intervalo  $[0 -1]$  ou, as vezes,  $[-1 +1]$ . A maioria dos modelos usa uma *sigmóide* (função que tem a forma de um s) como função de ativação. A sigmóide mais comumente usada é a *função logística*,  $f(x) = 1 / (1 + e^{-x})$ . Usualmente a mesma função de ativação é aplicada para todos os neurônios embora isso não seja um requisito. Muitas aplicações usam, para os neurônios de saída, a *função identidade*  $f(x) = x$ .

O fato de se usar funções de ativação não lineares resulta de que o emprego de funções lineares faz com que a rede de múltiplas camadas possa ser reduzida a outra equivalente de uma camada e, portanto, não resolvendo os problemas típicos de redes de uma camada, como por exemplo os que tentam resolver problemas que não apresentam entradas linearmente separáveis.

Por analogia com sistemas eletrônicos analógicos pode-se pensar na função de ativação como um mecanismo que define um ganho não linear para o neurônio artificial. Este ganho é calculado encontrando a taxa de mudança que ocorre na saída quando se tem uma pequena variação da soma ponderada das excitações presentes na entrada. Pode-se mostrar que este ganho é dado pela inclinação da curva da função para um nível específico de excitação.

O ganho fornece o grau de certeza ou grau de reconhecimento de um padrão. Ele varia de um valor baixo para excitações grandes e negativas até um valor alto para uma excitação nula, caindo novamente quando a excitação se torna muito grande e positiva.

Grosberg (1973) mostra que esta característica não linear do ganho resolve o dilema apresentado pelo ruído de saturação da rede, isto é, como pode uma mesma rede manusear sinais pequenos e grandes posto que pequenos sinais de entrada exigem um alto ganho através da rede se se pretende que eles produzam saídas utilizáveis e se esse ganho fosse aplicado também aos sinais maiores um limite de saturação seria ultrapassado.

Pequenos sinais de entrada tem baixa capacidade excitatória, exigindo um fator de ampliação, que é dado pelo ganho, para produzir saídas úteis, isto é, que contribuam no sentido da convergência da rede. A função logística satisfaz muito bem esta exigência pois, para grandes excitações, positivas ou negativas, apresenta um fator baixo de ampliação. Desta maneira um neurônio é capaz de trabalhar sobre um domínio amplo de níveis de entrada.

O treinamento de uma rede é, usualmente, um verdadeiro pesadelo devido a não linearidade do modelo onde um grande número de variáveis correlacionadas torna o problema de otimização extremamente complexo, com falsos mínimos ocorrendo no leito de vales estreitos. Um algoritmo para o treinamento de redes de múltiplas camadas que minimiza o problema é intitulado de *back-propagation* (Rumelhart, 1986).

É um algoritmo supervisionado e requer o pareamento de cada vetor de entrada com um vetor de saída desejado.

O processo de treinamento começa setando-se todos os pesos com valores próximos de zero que, freqüentemente, são gerados aleatoriamente. A partir daí um subconjunto da coleção de amostras de treinamento é apresentada à rede, um de cada vez. Mede-se o erro e atualizam-se os pesos de forma a reduzi-lo, repetindo-se o processo se necessário.

Cada passagem por este processo é denominado uma época. O tamanho do subconjunto (número de amostras de treinamento usadas para atualizar os pesos) é chamado de tamanho da época.

A medida de erro mais comum é o erro médio quadrático que é facilmente computável e eficiente permitindo, ainda, que se calcule, explicitamente, as derivadas parciais com relação aos pesos individuais. O uso do logaritmo do erro médio quadrado como medida melhora, ainda mais, a aprendizagem. Suponhamos que temos um padrão de treinamento  $p$  que estamos processando. Queremos ajustar a rede para uma saída  $t_{pj}$  e observamos uma saída  $o_{pj}$ . Se temos  $n$  neurônios de saída o erro para uma única apresentação é dado por:

$$E_p = (1/n) \sum_{j=0}^{n-1} (t_{pj} - o_{pj})$$

Se temos  $o_i$  como a saída de um neurônio de uma camada anterior;  $rede_j$  a soma ponderada vindo através de um neurônio  $j$  da camada de saída;  $o_j$  a ativação observada e  $t_j$  aquela que se desejaria, temos:

$$\partial E / \partial w_{ij} = -o_i \delta_j \text{ com } \delta_j = f'(rede_j) (t_j - o_j)$$

Se temos  $m$  apresentações na época, o erro, para a época, é dado por:

$$E_p = (1/m) \sum_{p=0}^{m-1} E_p$$

O termo 'back propagation' (propagação para trás), se deriva do fato que, para ajustar os pesos, primeiro temos que calcular para a camada de saída e ir voltando até a camada de entrada. A partir dos valores conhecidos dos  $\delta$  das camadas mais externas (k), se computam os da camada anterior (j). Na fórmula os  $w_{kj}$  são os pesos que conectam um neurônio da camada j com outro da camada seguinte 'k'.

$$\delta_j = f'(rede_j) \sum_k (\delta_k w_{kj})$$

$$\partial E / \partial w_{ji} = -o_i \delta_j$$

Essas fórmulas são para uma única apresentação de um padrão de entrada. Para computar o gradiente de uma época inteira de treinamento, como a derivada da soma é a soma das derivadas, basta somar os gradientes para cada soma.

#### • Treinamento de redes neuronais de múltiplas camadas

O método de 'back-propagation' foi o primeiro método prático utilizado para ajuste desse tipo de rede. Na verdade o problema consiste em: dada uma função, que representa a rede neuronal, a qual associa um conjunto de números reais na entrada com outros na saída, determinar os pesos de forma a que uma saída desejada seja obtida. Em outras palavras, o problema consiste em minimizar uma função não linear, que traduz o erro entre uma saída desejada e outra observada. O método back-propagation nada mais é do que uma variante do método do gradiente e todas as técnicas conhecidas para encontrar esse mínimo podem ser aplicadas ao problema.

Dentro da metáfora biológica que perseguimos, nos parece mais indicado o uso de algoritmos genéticos para busca desse mínimo, ou seja, dada uma população inicial que representa os pesos associados a rede em questão e uma função objetivo definida como a saída desejada, usamos os mecanismos genéticos para que os componentes que mais se aproximem do objetivo se reproduzam. Para isso, precisamos de:

→ projetar a estrutura genética, ou seja, como os parâmetros podem ser codificados dentro dos cromossomas

A primeira decisão que temos que tomar consiste em se buscar um ótimo entre o número de genes e o número de alelos por gen. Usualmente um gen pode assumir os valores 0 e 1, mas nada impede, se quisermos, por exemplo, representar números decimais, que cada gene possa assumir valores de 0 a 9. Na maioria dos casos o uso de mais genes e menos alelos por genes produz algoritmos mais efetivos.

A segunda consideração ao se projetar os cromossomas é em como se atribuir as posições dos genes dentro deles. Tradicionalmente cromossomas são tratados como estruturas lineares.

Se sabemos de antemão que alguns parâmetros interagem com outros, devemos desenhar os cromossomas de forma que os genes associados a esses parâmetros fiquem em 'locus' próximos, menos sensíveis às operações de reprodução e crossover.

### → avaliação

O processo que avalia o grau de adaptação de um indivíduo da população consiste em um processo que envolve cinco passos: Primeiro converte-se o genótipo do cromossomo no seu fenótipo. Esta conversão é tão mais simples ou complicada em correspondência com a codificação que foi utilizada. A seguir utiliza-se a função objetivo para se obter o grau de adaptação. O cuidado que se tem que ter ao se definir a função objetivo consiste em se atribuir igual importância a todos os parâmetros. O terceiro passo consiste em se converter o valor da função em um índice, ainda cru. Como o que se quer é minimizar a função objetivo, ou seja, o erro, o que se quer é que pequenos valores da função produzam grandes valores adaptativos. Um outro aspecto é que os cálculos são simplificados se forem evitados valores negativos. Geralmente para cada tipo de problema uma ou outra função se mostra mais indicada. A mais utilizada é a exponencial  $f(v) = e^{kv}$  onde  $k$  é um número negativo, geralmente  $-20$ , o que permite mapear erros de  $.001$  em uma adaptação crua de  $.98$ ,  $.01$  em  $.82$  e  $.1$  em  $.14$  o que é muito bom posto que em problemas associados a redes neuronais o erro  $v$  varia de  $0$  a  $1$ . O quarto passo consiste em se converter esse grau cru de adaptação em um índice de escala. O problema aqui é que, se nas primeiras gerações aparecem indivíduos muito mais adaptados que os demais, perde-se o material genético dos demais pois esses passam logo a dominar o processo de reprodução. Isto conduz ao uso de funções de escala que diminuam a diferença entre os indivíduos. No final do processo, ao contrário, a maioria dos indivíduos apresentam mais ou menos o mesmo grau de adaptação o que exige funções de escala que ampliem essas diferenças para que os indivíduos mais adaptados tenham mais chance de serem selecionados. O truque para se resolver esse problema consiste em aplicar uma transformação linear ao índice cru tal que a adaptação média se mantenha constante mas que o valor máximo do índice escalonado de adaptação se mantenha um múltiplo (alguns utilizam 2 outros 3) do índice médio. A fórmula de escalonamento usualmente empregada é a seguinte:

$$f(x) = \text{inclinação} * x + \text{const}$$

$$\text{inclinação} = [(\text{mult} - 1) * \text{média}] / [(max - \text{média})]$$

$$\text{const} = [\text{média} * (max - \text{mult} * \text{média})] / [(max - \text{média})]$$

onde  $f(x)$  é a função que converte os índices crus em índices escalonados,  $mult$  é o fator pelo qual se favorece o valor máximo de adaptação sobre a média;  $média$  é a média dos índices crus e  $max$  é o máximo índice cru. Se, ao aplicar a fórmula se obtém índices negativos utiliza-se uma fórmula alternativa que mapeia o mínimo índice cru em  $0$  sem alterar a média.

$$\text{inclinação} = (\text{média}) / (\text{média} - \text{min})$$

$$\text{const} = (- \text{min} * \text{média}) / (\text{média} - \text{min})$$

O passo final consiste em se converter esse índice escalonado em uma frequência esperada de que determinado indivíduo seja escolhido como um pai da geração futura.

#### → Seleção dos pais

O método usual é o da roleta. Atribui-se a cada indivíduo um campo proporcional ao índice escalonado e gira-se a roleta de forma que a frequência esperada seja proporcionalmente maior para os indivíduos mais adaptados. Um método alternativo consiste em se garantir que os indivíduos mais adaptados sejam selecionados e que o número de vezes que estes sejam selecionados corresponda à frequência esperada. Primeiro se preenche uma matriz com *os pais que devem estar lá* por terem uma frequência esperada de, no mínimo, 1. O resto da matriz é preenchido usando-se a roleta para os demais candidatos.

#### → Reprodução

#### → Mutação

Algumas técnicas especiais que os que trabalham com treinamento de redes empregando algoritmos genéticos se utilizam são:

#### ○ Códigos de Gray

Na codificação binária usual a mudança de uma unidade requer, as vezes, que todos os bits se modifiquem. O código de Gray é tal que a cada mudança de uma unidade apenas um bit se modifica. Códigos de Gray são empregados para representar os pesos na fase de inicialização genética de um programa de rede neuronal.

Decimal	Binário	Gray
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100

#### ○ Superinicialização

A população inicial geralmente é gerada aleatoriamente. Eliminar muitos indivíduos mal adaptados da primeira geração tem o efeito de limitar o conjunto de genes com os quais as futuras gerações serão construídas.

Este problema pode ser aliviado se, por exemplo, se gerar aleatoriamente 150 indivíduos e escolher os 100 melhores para compor a população inicial. Desta forma começamos com um conjunto de genes bem rico e garantimos a diversidade da população. Geralmente, estimada a população necessária, geram-se 50 a 100% indivíduos a mais.

### ⊗ Crossover em dois pontos

O método tradicional consiste em se escolher um ponto do cromossomo aleatoriamente e daí cada filho resultante herdando uma parte do cromossomo paterno. O que acontece, no entanto, se a organização com sucesso de um schema depender de um conjunto de genes que estão separados? Vamos supor, por exemplo, que estamos diante de uma rede cuja única camada oculta tenha quatro neurônios. Se seguirmos a abordagem convencional de concatenar os vetores de peso em um cromossomo, então os pesos que conectam cada um dos quatro neurônios da camada oculta aos primeiros neurônios de entrada estarão no início do primeiro, do segundo, do terceiro e da quarta parte do cromossomo respectivamente.

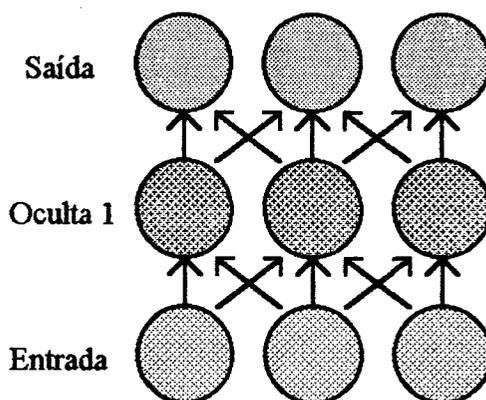


Figura 7.32 Rede neuronal de três camadas

Se seguirmos o esquema tradicional e fizermos o crossover em um ponto, o resultado nos pesos para o primeiro e o terceiro neurônio oculto será sempre dividido em filhos diferentes. O mesmo acontecerá para o segundo e quarto cromossomas. Apesar disso, sabe-se que interações importantes entre esses pesos. Como mostrado na figura um crossover em dois pontos resolve esse problema.

Pai A:	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>	A <sub>10</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>	A <sub>13</sub>	A <sub>14</sub>	A <sub>15</sub>	A <sub>16</sub>
Pai B:	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	B <sub>7</sub>	B <sub>8</sub>	B <sub>9</sub>	B <sub>10</sub>	B <sub>11</sub>	B <sub>12</sub>	B <sub>13</sub>	B <sub>14</sub>	B <sub>15</sub>	B <sub>16</sub>
Filho 1:	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	B <sub>7</sub>	B <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>	A <sub>10</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>	B <sub>13</sub>	B <sub>14</sub>	B <sub>15</sub>	B <sub>16</sub>
Filho 2:	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	B <sub>9</sub>	B <sub>10</sub>	B <sub>11</sub>	B <sub>12</sub>	A <sub>13</sub>	A <sub>14</sub>	A <sub>15</sub>	A <sub>16</sub>

Observemos, no entanto que, agora, genes que estão exatamente quatro locus a parte estarão sempre separados. Em outras palavras, solucionou-se um problema e criou-se outro. A solução é permitir que ambos os tipos de crossover possam ocorrer.

### 7.2.2.3 Redes neuronais e Lógica difusa

Imaginemos um empregado dentro de uma fábrica de produção de 'ovos fritos' cuja atribuição seja a de classificar os produtos que saem de uma linha de montagem em 'crus', 'mal passados', 'no ponto', 'bem passados' e 'estragados por excesso de tempo na frigideira'. Suponha, por exemplo, que se queira registrar dados de mercado sobre a reação dos indivíduos a uma nova pasta de dente como, por exemplo, 'não gostou', 'indiferente', 'gostou mas não trocaria pela que usa', 'gostou e talvez trocasse pela que usa' ou 'gostou e vai trocar pela que usa'. Esses exemplos nos mostram que, no dia a dia, lidamos com dados subjetivos ou imprecisos. A forma clássica de se tratar esse tipo de problema consiste em se colher amostras de um tamanho suficiente que nos permita compensar essa falta de precisão inerente a esses tipos de medida<sup>1</sup>.

Se se pretende usar redes neuronais para se trabalhar sobre esses dados pode ser interessante que se tente reduzir ao máximo o número dos mesmos evitando-se sobrecarga desnecessária da rede. Numa fábrica de vinhos temos, normalmente, provadores treinados que avaliam a qualidade do produto. Bem cedo, ainda durante o processo de fermentação, esses provadores preenchem um relatório. A seguir o barril é dividido em barris menores e cada um desses recebe um tratamento diferente como acréscimo de açúcar, submissão a uma temperatura diferente, etc. Quando o vinho está pronto é provado de novo, identificando-se o melhor tratamento. Este esquema de pré testar, depois processar e finalmente avaliar é repetido diversas vezes. Uma rede neuronal pode ser treinada para usar os dados de pré teste como entrada e aquele que se revelou o melhor processo de fabricação como alvo a ser atingido. O objetivo é se desenvolver uma rede que seja capaz de prever que para uma determinada condição definida pelo pré teste tal e qual tratamento deve ser seguido para se obter o melhor vinho. O problema consiste em se saber como devemos apresentar os dados de entrada a essa rede.

Uma primeira abordagem consistiria em se tratar cada testador independentemente. Se cada um dos  $m$  especialistas respondem a  $n$  questões, a rede teria  $n$  entradas ou grupos de entradas se os dados forem tratados como nominais<sup>2</sup> ou ordinais<sup>3</sup> e  $m$  casos que, no conjunto de treinamento contribuiriam para o teste. O problema aqui é que como diferentes pessoas estão envolvidas numa análise subjetiva, o significado de cada uma das  $n$  variáveis provavelmente será diferente para cada um dos testadores. Este fator de erro inerente ao processo pode tornar mais difícil a aprendizagem pela rede.

Uma alternativa ao problema levantado seria a de se dedicar diferentes neurônios para cada um dos provadores o que conduziria a uma rede com  $mn$  neurônios de entrada. Mas o que aconteceria se  $mn$  se tornasse grande demais?

<sup>1</sup>Ver 6.5.2 para uma discussão mais aprofundada sobre conjuntos difusos

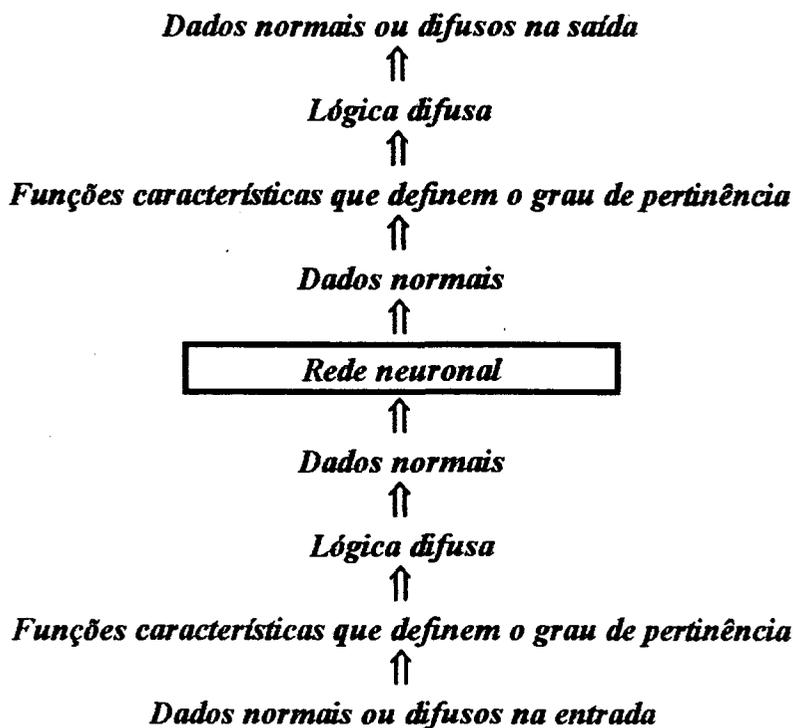
<sup>2</sup>variáveis nominais são aquelas que normalmente 'nomeiam' coisas, não tendo um valor numérico. Em redes neuronais dedicam-se a elas, normalmente, tantos neurônios como os valores que elas podem assumir.

<sup>3</sup>variáveis ordinais estabelecem relações de ordem. "Maior do que", etc.

A alternativa, aqui, seria a de se tentar combinar as opiniões de todos os especialistas reduzindo-se de novo o número de neurônios necessários a  $n$ . A Teoria dos conjuntos difusos fornece as ferramentas necessárias a essa combinação de idéias.

Não são somente os valores de entrada que precisam de um processo de 'fuzificação'<sup>4</sup>. Pode ser que o objetivo a ser atingido também deva ser expresso em termos subjetivos. Na modelagem de entidades *autopoiéticas*, diante de um contexto, pode ser que o que queiramos seja uma categorização vaga do tipo 'essa situação é boa'; 'essa situação é ruim' ou 'essa situação é terrível e devo fugir já'.

A forma mais geral de acoplamento entre processadores difusos e redes neuronais é mostrado na figura abaixo:



*Figura 7.33 Interconectando processadores 'fuzzy' à redes neuronais*

Quando se propõe uma rede neuronal como solução para um problema, uma das muitas opções de projeto a ser consideradas consiste na análise da forma mais apropriada de se tratar as entradas da rede. Considere, por exemplo, uma situação de controle de qualidade industrial. Dispomos de dois sensores idênticos examinando os produtos de uma linha de montagem. Se qualquer um deles acusar um problema deve disparar uma rede neuronal.

<sup>4</sup>fuzzificação consiste em transformar um valor determinístico em outro ao qual se associa a uma medida o grau de certeza que temos em relação a ela.

Vamos adicionar um elemento 'complicador'. Se um terceiro sensor estiver num determinado estado deve-se ignorar as medidas dos outros dois sensores porque suas indicações podem não passar, nessa situação, de sinais aleatórios sem significado. Podemos traduzir isso no seguinte:

-Existem dois sensores cujas indicações são, me princípio, idênticas. O valor de uma das medidas em relação a do outro não traz nenhuma informação útil.

-A utilidade desses dois sensores é verificada por um terceiro sensor. Algumas vezes precisamos ignorar os primeiros dois sensores.

A abordagem mais ingênua, neste caso, nos levaria a projetar uma rede neuronal com três entradas, uma para cada sensor. Em primeiro lugar, ao fazer isso, estaremos sobrecarregando a rede com duas informações idênticas quando qualquer um dos dois sensores pode prover a informação necessária. É lógico que redes neuronais podem manipular operações tipo .OR., mas porque fazer isso se existem maneiras mais simples? O problema sério que afeta o treinamento da rede, no entanto, é o tipo de ação do terceiro sensor. Não se pode esperar que a rede seja capaz de aprender a ignorar entradas em função de outras entradas

Embora os valores de entrada dos dois sensores sejam irrelevantes para alguns valores associados ao terceiro sensor, a rede sendo treinada deve ser alimentada com uma variedade representativa de entradas dos dois primeiros neurônios *mesmo quando o terceiro neurônio está no estado 'ignorar'*. Em segundo lugar estamos diante de uma porta .AND. Redes de múltiplas camadas tem mais dificuldades de aprender operações multiplicativas do que operações aditivas.

Poderíamos, alternativamente, definir um conjunto difuso chamado de 'Problema-A' cuja função característica teria como variável a medida do primeiro setor; um outro associado ao segundo sensor, 'Problema-B' e, finalmente, um conjunto difuso 'Acreditar'. O objetivo final poderia ser definido como um conjunto difuso 'Problema' cujo valor da função característica seria uma única entrada na rede neuronal. Duas regras seriam empregadas.

Se 'Problema-A' ou 'Problema-B', então 'Problema em potencial'.

Se 'Problema em potencial' e 'Acreditar', então 'Problema'.

Pelo projeto inteligente das três funções características primitivas reduz-se uma relação complexa entre três variáveis para outro com apenas uma variável simples envolvida.

Quando uma variável de entrada, por exemplo assumindo valores no intervalo  $[0, 1]$ , pode, para um certo conjunto de valores, por exemplo, dentro do intervalo  $[0.4, 0.5]$  ter uma interação significativa com outras variáveis sendo praticamente inoperante fora dessa faixa, redes neuronais eficientes são difíceis de serem encontradas. Os pesos necessários podem estar escondidos em algum canto de difícil acesso no Espaço do Pesos.

A tarefa de aprendizagem, nesses casos, pode ser simplificada se provermos a rede de alguns neurônios especializados, cada um deles focando uma região do domínio da variável. Esta técnica é chamada de *codificação difusa 1 para n*.

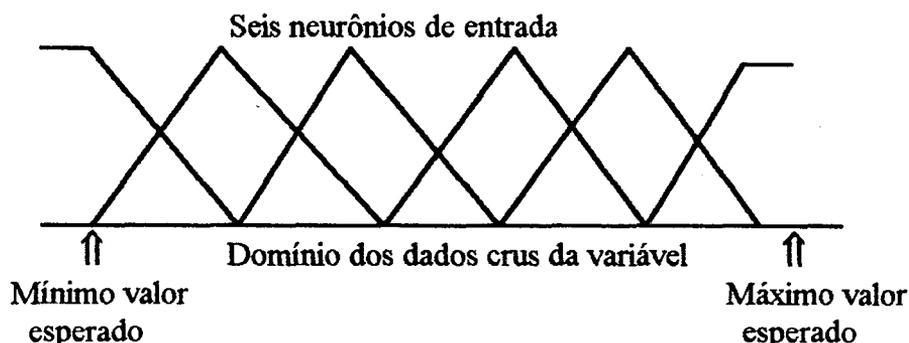


Figura 7.34 Codificação difusa 1 para n

O domínio é dividido em vários conjuntos difusos onde, para cada um, a função característica tem a forma triangular mostrada na figura. Os conjuntos difusos pegando a partes mais inferior e superior do domínio têm a forma mostrada na figura. O valor da função característica em cada conjunto difuso vai determinar o grau de ativação do neurônio de entrada associado. Portanto, uma variável de entrada cobrindo todo o domínio é expandida em múltiplas entradas cobrindo uma fração desse domínio. O compromisso aqui é entre a facilitação na aprendizagem trazida pela especialização dos neurônios contra as dificuldades originadas pelo aumento do número de neurônios da rede. Como regra geral este tipo de codificação é efetivo se e somente se a importância da variável varia de forma significativa ao longo do seu domínio.

Redes neuronais podem ser treinadas para produzir resultados diretamente na forma definida pelo objetivo final. Frequentemente é melhor, as vezes, treinar a rede para produzir resultados intermediários que são então processados para se obter o resultado final. Esta abordagem traz duas vantagens: Primeiro, pode ser mais fácil treinar a rede para aprender essas variáveis intermediárias do que o resultado final. Em segundo lugar se se deseja um resultado diferente associado ao resultado final só o que muda é o pós processamento.

Os processadores difusos mais elementares evitam 'defuzificação', empregando os valores da função característica diretamente como variável de saída. Suponha, por exemplo, que tenhamos uma rede neuronal treinada para guiar as aplicações de investidores. Os dados de entrada incluem os dados econômicos históricos e atuais para uma companhia. Uma saída da rede estima os lucros que podem ser obtidos pela compra de ações e a outra saída estima a probabilidade da empresa ir a falência. Embora esses detalhes sejam importantes o que queremos é um único número que nos diga se devemos ou não investir nessa empresa. A solução óbvia consiste em se buscar empresas que apresentem altos lucros e baixo risco.

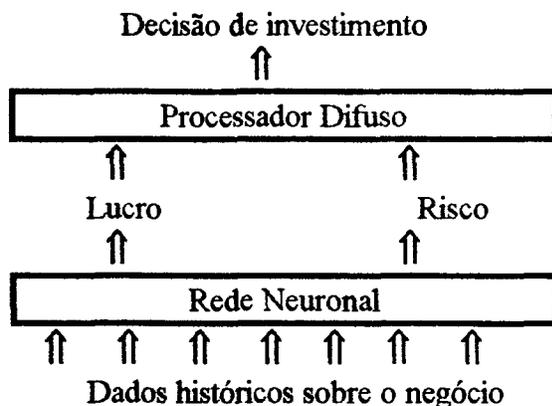


Figura 7.35 Pós-processamento difuso para orientação de investimentos

O pós-processamento é bem simples. Utiliza-se a saída dos neurônios para computar o valor da função característica dos primeiros dois conjuntos difusos 'Lucro' e 'Risco'. Subtraímos '1' do segundo para obter o valor da função característica em 'Não Risco'. O mínimo dos dois valores vai ser o valor da função característica associada ao conjunto difuso 'Bom Investimento'.

#### 7.2.2.4 Redes neuronais com treinamento não supervisionado

Sistemas conexionistas dividem uma computação global em numerosas computações mais simples. Uma rede conexionista de uma única camada e de uma única saída computa, tipicamente, uma função simples, a soma ponderada dos valores de entrada. Uma rede de múltiplas camadas inclui unidades processadoras 'escondidas' cujas entradas são saídas de outras unidades.

As redes neuronais de Kohonen, criadas por Teuvo Kohonen, são formadas por duas camadas, capazes de organizar um mapa topológico a partir de um ponto inicial aleatoriamente escolhido. A rede combina uma camada de entrada com uma camada competitiva de unidades de processamento. No aprendizado competitivo os neurônios competem pelo privilégio de aprender. É permitido que apenas um ou no máximo uns poucos neurônios ajustem seus pesos em resposta a um padrão na entrada.

Neste paradigma a rede é apresentada a um conjunto de padrões de treinamento mas não se fornecem as respostas associadas a cada padrão de entrada, ou seja, as redes não são treinadas para reconhecer padrões determinados a priori, fornecendo respostas também a priori definidas. É a própria rede quem organiza os padrões de treinamento em um conjunto de classes.

Padrões de entrada são classificados pelas unidades que tornam ativas na camada de competição. Semelhanças entre padrões são mapeados proporcionalmente a relações de proximidade na camada competitiva.

As redes de Kohonen apresentam a característica de auto organização. Por analogia podem ser visualizadas como uma rede de pescador, inicialmente enrolada no entorno de algum ponto do espaço de soluções, e que vai se desenrolando no sentido de 'capturar' os padrões de entrada que lhe são apresentados.

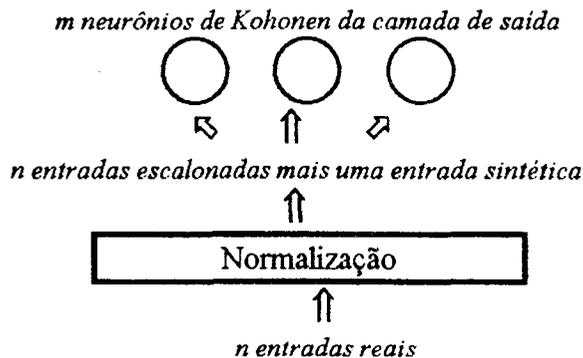


Figura 7.36 Redes de Kohonen

O vetor de neurônios é denominado nível competitivo, porque os neurônios virtualmente competirão pela entrada para determinar qual deles aproxima melhor o padrão recebido.

Quando é treinada, a rede de Kohonen funciona da forma descrita a seguir. Primeiramente, um padrão de entrada é apresentado à rede. Os neurônios do nível competitivo calculam seu valor de excitação  $ne_j$ , formando o vetor  $Z$ . A partir destes valores, um único neurônio vence a competição e se torna ativo. Quando um neurônio vence a competição numa rede de Kohonen é porque ele representa a categoria de classificação mais adequada ao padrão de entrada.

Para a apresentação das equações básicas que regem o funcionamento das redes de Kohonen algumas convenções serão adotadas:

- a) O vetor de entrada fornecido à rede será denominado  $X$  e seu tamanho será  $t$ :

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_t)$$

- b) O vetor dos neurônios competitivos, que representa a saída da rede será denotado por  $Y$  e terá tamanho  $n$ :

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$$

- c) Os pesos da rede serão denotados da seguinte forma:

$w_{ji}$  = peso da entrada  $i$  para o neurônio  $j$

$W_j = (w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jt})$  = pesos ligando todas as entradas ao neurônio  $j$ .

d) Os vetores de pesos  $W_j$ , bem como as entradas  $X$  podem ser normalizados. Mais adiante será explicado o procedimento de normalização.

Quando um vetor de entrada  $X$  é apresentado à rede,  $x_i$  se torna o nível de ativação da unidade  $i$  na entrada. O nível competitivo realiza então a soma ponderada:

$$z_j = \sum_i x_i w_{ji}$$

onde  $z_j$  é a soma ponderada para o neurônio  $j$ .

A saída de um neurônio Kohonen é a soma ponderada de suas entradas. Nenhuma função de ativação é aplicada. O processo de normalização produz, as vezes, uma entrada sintética.

$$\text{saída} = \sum_{i=0}^{n-1} x_i w_i + s w_n$$

A competição atribui a um único neurônio a qualidade de vencedor. Vence a competição o neurônio que possuir a maior soma ponderada  $z_j$ . Portanto:

$$z_v = \max_i(z_i)$$

Em caso de empate, pode-se usar um critério qualquer para escolher o vencedor, como um número de ordem, por exemplo. Após a competição, os neurônios do nível  $Y$  possuem os seguintes valores de saída:

$$y_v = 1.0$$

$$y_i = 0.0 \text{ para todo } i \text{ diferente de } v$$

Durante o treinamento, os pesos  $W_v$  relativos ao neurônio vencedor devem ser ajustados. Os outros pesos permanecem inalterados. Os pesos que ligam todas as entradas ao neurônio vencedor são adaptados da seguinte forma:

$$w_{vi} := w_{vi} + \alpha(x_i - w_{vi})$$

onde  $\alpha$  é definida como *constante de aprendizagem* e seu valor varia entre 0.0 e 1.0. Os pesos  $w_{ji}$ , para  $j \neq v$  permanecem os mesmos. Após o ajuste, o vetor  $W$  deve ser novamente normalizado.

As redes de Kohonen são sempre usadas como 'classificadores'. Nossa proposta é a de que padrões registrados pelos sentidos e ações motoras podem ser modelados por estruturas conexionistas com treinamento não supervisionado desenhadas com base nos mecanismos biológicos e que tais mecanismos são ideais para se perceber e atuar sobre o mundo.

Como classificadores, as redes de Kohonen, por não apresentarem nenhuma camada oculta e terem suas respostas estritamente lineares, são pouco eficientes. A maioria dessas redes quando empregadas na prática, possui um número muito grande de neurônios de saída cada um dos quais se focando em um único padrão. Por outro lado, o treinamento dessas redes é bem simples e os resultados facilmente interpretáveis.

O maior impedimento de um uso maior desse tipo de rede são as restrições impostas à entrada. Idealmente estas devem permanecer entre limites simétricos, usualmente  $[-1, +1]$ .

O comprimento do vetor de entrada deve ser o mesmo para todos os casos de teste. Este comprimento é usualmente fixado em '1'. Finalmente, para um melhor desempenho, cada entrada deveria cobrir a maioria do seu domínio de definição.

O modelo básico de Kohonen requer, portanto, que os vetores de entrada e os vetores de pesos para cada neurônio sejam normalizados. O primeiro passo consiste em se assegurar que todas as variáveis estejam de acordo com o domínio da rede, que supomos aqui ser  $[-1, 1]$ .

Uma vez que todas as variáveis tenham sido mapeadas para o intervalo  $[-1, +1]$ , deve-se buscar um meio de apresentar um vetor de entrada com o comprimento geométrico igual a 1.0. A maneira mais simples consiste em se calcular o comprimento do vetor e dividir cada componente por esse comprimento.

$$l = \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} x_i^2}$$

$$\hat{x}_i = \frac{x_i}{l} \quad i = 0, \dots, n-1$$

Com a normalização, os vetores de entrada atingem, no plano cartesiano, posições que pertencem à superfície de uma esfera de raio 1.0 (ou uma hiper-esfera, se os vetores forem de mais de três elementos). Os vetores  $W$  também devem ser normalizados. Desta forma, os vetores de pesos para cada neurônio determinam posições na hiper-esfera de raio 1.0.

Uma deficiência nesse método de normalização consiste em que casos de entrada  $(-2, 1, 3)$  e  $(-10, 5, 15)$  são transformados na mesma entrada para rede. Em outras palavras, perde-se a informação relativa à magnitude absoluta. Um esquema mais elaborado de normalização, a *normalização no eixo Z*, consiste em aumentar as entradas criando-se uma variável sintetizadora cujo valor é uma função das entradas reais. Seja  $l$  o comprimento do vetor de entrada e  $s$  o valor da entrada sintetizadora.

$$f = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

$$\hat{x}_i = f x_i$$

$$s = f \sqrt{n - l^2}$$

O somatório ponderado dos valores de entrada determina o ângulo existente entre o vetor de entrada  $X$  e o vetor de pesos  $W_j$ . O objetivo do treinamento da rede é diminuir este ângulo para cada entrada na qual o neurônio  $z_j$  seja vencedor.

Os vetores  $W_j$  podem ser considerados como exemplares das classes que os neurônios  $y_j$  de saída, determinam. Um padrão de entrada ativa o exemplar que lhe for mais semelhante, o qual corresponde ao vetor  $W_j$ .

O processo de normalização consiste em fazer com que o comprimento geométrico do vetor corresponda a 1.0. Isto pode ser obtido dividindo-se cada valor  $w_{vi}$  pelo comprimento corrente do vetor:

$$w_{vi} = \frac{w_{vi}}{\|W_j\|}$$

Existem vários métodos para fazer a normalização de vetores. O método descrito acima é o mais indicado quando a direção do vetor é mais importante do que o seu comprimento. A ação efetiva da normalização consiste em aumentar o comprimento dos vetores que estejam no interior da hiper-esfera e diminuir o comprimento dos vetores que definam coordenadas fora da hiper-esfera, para que tanto os primeiros quanto os últimos determinem valores na superfície da hiper-esfera de raio 1.0.

O modelo básico permite apenas um vencedor no nível dos neurônios competitivos. Pode-se generalizar o modelo, quanto ao número de vencedores de pelo menos duas formas:

- a) Pode-se estabelecer um número fixo, maior do que 1, de neurônios que podem vencer a cada interação da rede. Pode ser estabelecido, por exemplo, que a cada etapa os três neurônios com o maior  $Z_j$  vencem a competição,
- b) Pode-se estabelecer um limiar para a rede acima do qual um neurônio vence. Desta forma, o número de neurônios vencedores será variável, podendo acontecer, inclusive, que nenhum neurônio vença a competição para um determinado padrão de entrada.

O método (b) pode ser novamente generalizado estabelecendo-se que cada neurônio competitivo possui um limiar próprio  $\lambda$  que indica se ele vence ou não. O valor de saída da rede seria então determinado da seguinte forma:

$$y_i = 1 \text{ se } z_i \geq \lambda_i$$

$$y_i = 0 \text{ se } z_i < \lambda_i$$

Pode-se, assim, falar em um conjunto de neurônios vencedores para cada padrão de entrada. Note-se que quanto mais próximo de  $0.0$  for o valor de  $\lambda_i$ , mais facilmente o neurônio pode disparar, uma vez que o valor  $ne_j$  varia no intervalo  $(0.0, 1.0)$ .

Todos os pesos da rede precisam ter seus valores inicializados antes de começar o treinamento. É prática comum, em redes neurais, inicializar os pesos com valores aleatórios. Porém, este tipo de inicialização, para as redes de Kohonen, pode causar sérias dificuldades durante o treinamento, uma vez que ela distribui os pesos uniformemente na hiper-esfera.

Normalmente, os padrões de entrada não se distribuem uniformemente, mas estão concentrados em pequenas regimes da hiper-esfera. Alguns exemplares podem, assim, estar tão longe de qualquer entrada que jamais serão considerados vencedores. Estes neurônios terão saída sempre igual a zero e poderão ser descartados.

Por outro lado, em zonas de grande concentração de entradas, o número de exemplares poderá não ser suficiente para diferenciar as diversas categorias. Assim, o arranjo de exemplares não refletirá a verdadeira estrutura das entradas.

Suponha que existam vários vetores de entrada similares mas que devam ser separados em categorias diferentes. A rede deverá ser treinada para ativar um neurônio para cada categoria. Se a densidade inicial de vetores de peso é muito pequena na vizinhança dos vetores de treinamento, poderá ser impossível separar as categorias similares, pois não existirão vetores de peso suficientes na vizinhança para atribuir uma categoria a cada um.

Suponha, no outro caso, que vários vetores de entrada consistem em pequenas variações de um mesmo padrão e devam ser, assim, agrupados em uma única categoria. Cada um deles deverá disparar o mesmo neurônio. Porém, se a densidade de vetores de peso é muito grande próximo ao grupo de vetores com pequenas variações, então cada entrada poderá ativar um neurônio diferente.

A solução mais desejável é distribuir os vetores de pesos de acordo com a densidade de separação dos grupos de vetores de entrada. Isto não é possível, uma vez que não se sabe, de antemão, onde vão surgir as entradas. Mas existem vários métodos para aproximar este efeito.

Uma solução é chamada método da combinação convexa. Neste método, todos os pesos são definidos com um mesmo valor  $1/\sqrt{n}$ , onde  $n$  é o número de elementos dos vetores de entrada. Isto faz com que os vetores de pesos estejam todos normalizados e com o mesmo valor.

Além disso, a cada elemento  $x_i$  da entrada é atribuído o valor  $\beta x_i + ((1/\sqrt{n}) \times (1 - \beta))$ . Inicialmente,  $\beta$  é um valor muito pequeno, fazendo com que todas as entradas fiquem próximas de  $1/\sqrt{n}$ . A medida que a rede é treinada,  $\beta$  é incrementado até o limite de 1.0. Isto faz com que as entradas se separem e, finalmente, atinjam seus verdadeiros valores.

O método da combinação convexa funciona bem, mas torna o aprendizado da rede mais lento. Além disso, o método só age no início do processo de treinamento e não prevê mudanças na distribuição das entradas. Ou seja, a partir de um certo ponto, quando  $\beta$  passa a valer 1.0., o método simplesmente pára de funcionar. Se a distribuição dos vetores de entrada mudar depois deste ponto, o método é inócuo.

Outro método consiste em adicionar ruído às entradas somando valores aleatórios às mesmas.

Isto faz com que as entradas se movam de forma a, eventualmente, capturar um vetor de pesos. Este método também funciona, mas é ainda mais lento do que a combinação convexa.

Um terceiro método inicia com pesos aleatórios, mas nos estágios iniciais ajusta todos os pesos da rede, e não apenas os do neurônio vencedor. Isto acaba movimentando os vetores de peso para as regiões onde se encontram os valores de entrada. A medida que o treino progride, apenas os vetores mais próximos do vencedor são ajustados. Este raio de ajuste é cada vez mais restrito, até que apenas o vencedor seja ajustado.

Um quarto método dá a cada neurônio um valor  $k$ , que corresponde ao número de vezes em que ele foi ativado. Se o número de iterações da rede for denotado por  $t$ , e o número de neurônios competitivos for  $n$ , então pode-se esperar, para cada neurônio uma média de ativação  $k/t$  dada pela equação:

$$k/t = 1/n$$

Se o valor  $k/t$  para um determinado neurônio for maior do que  $1/n$  é porque ele foi ativado mais vezes do que a média dos neurônios. Um neurônio nesta situação pode utilizar, temporariamente, um limiar que reduza suas chances de vencer, permitindo, assim, que outros neurônios sejam treinados.

## CAPÍTULO OITAVO

### Ferramentas a serem empregadas na modelagem da equilibração das estruturas cognitivas - Em busca de uma arquitetura

#### 8.1 Introdução

Identificados, no capítulo anterior, os sistemas que pretendemos modelar como complexos, capazes de auto-organização, pretendemos discutir, agora, as características que devem ser exibidas por um sistema de processamento que pretenda simular essas entidades. Discutiremos, ainda, a questão das vantagens e desvantagens de um processamento em paralelo e da conveniência do emprego de uma arquitetura do tipo quadro-negro (Wilensky, 1988). Através de um resumo das técnicas associadas à semântica denotacional (Schmidt, 1986), estudamos a questão relativa à atribuição, por máquinas, de 'significados' às coisas do mundo. Uma abordagem das vantagens associadas à uma análise orientada para objetos encerra o capítulo.

#### 8.2 Computadores para o processamento de símbolos.

Com base na unidade de dado que é armazenada na memória dos computadores, podemos definir cinco classes ou níveis de processamento, a saber: analógico, numérico, sobre palavras, relacional e sobre significados.

##### ☛ Nível Analógico

Medem-se tensões, correntes, grandezas analógicas em geral, sem se preocupar em representar esses dados de forma digital. Computadores analógicos podem ser construídos com elementos tipo: somadores, integradores, diferenciadores, etc, capazes de atuar diretamente sobre as entradas analógicas, fornecendo saídas também analógicas. Um computador digital, como candidato a uma máquina de Turing, é capaz de simular um computador analógico e é usualmente empregado para tal finalidade.

##### ☛ Nível Palavra:

Aqui, os parâmetros das funções são palavras que necessariamente não têm valor quantitativo. Processadores de texto são um exemplo de processamento a esse nível que, de certa forma, já é simbólico, pois envolve considerações quanto ao significado do dado.

##### ☛ Nível Relacional:

Nas operações relacionais, funções operam sobre as relações entre palavras; isto é, a unidade primária de armazenamento a ser processada está em grupos de palavras que podem ter a mesma interpretação relacional.

#### ☛ Nível de Significado:

Pouca pesquisa tem sido feita em técnicas para processamento automatizada ao nível de significado. A unidade primária da avaliação é, nesse caso, uma série inter-relacionada de relações capazes de representar esses significados.

Processamento simbólico é definido como aquelas operações realizadas ao nível palavra ou maiores. Computadores capazes de efetuar tais processamentos são chamados de *computadores de processamento simbólico*. As características mais importantes do processamento simbólico são:

#### ☛ Símbolos primitivos:

Uma aplicação simbólica geral pode conter operações simbólicas primitivas. Operações típicas são comparação, classificação, seleção, estabelecimento de relações, e operações lógicas tais como: união, negação e intersecção, cláusulas transitivas, recuperar e reconhecer padrões, etc..

#### ☛ Processamento paralelo ou distribuído:

Muitas aplicações simbólicas exibem um grande potencial para o paralelismo. O paralelismo pode ser dividido em *paralelismo-e* e *paralelismo-ou*. No *paralelismo-e*, um conjunto de tarefas necessárias e independentes são executadas ao mesmo tempo. O *paralelismo-ou* é uma técnica usada para encurtar-se o tempo de processamento em operações determinísticas, através de avaliações de alternativas para uma decisão.

#### ☛ Conhecimento incompleto:

Muitas aplicações envolvendo símbolos são não-determinísticas; não é possível prever com antecedência como será o fluxo da computação dado ao conhecimento e entendimento incompleto da aplicação. Esta carência de conhecimento pode levar à *execução dinâmica*, a qual refere-se à possibilidade de novos dados estruturais e funções serem criados durante a solução real do problema.

Adicionalmente, dados estruturais usados na solução do problema podem ser arbitrariamente grandes, necessitando assim de endereçamento dinâmico ou memória, tarefas, e outros recursos. O projeto de um sistema capaz de lidar com essa dinâmica natural a uma execução não-determinística define um *Sistema Aberto*.

#### ☛ Processamento do conhecimento

Meta-conhecimento é o conhecimento acerca do conhecimento. O nível de meta-conhecimento pode existir num nível simples ou numa hierarquia. Podemos ter um nível de conhecimento, outro de conhecimento do conhecimento e assim por diante de forma recursiva.

O meta-conhecimento pode ser classificado como determinístico ou estatístico. Meta-conhecimento determinístico refere-se ao conhecimento acerca de relações precedentes, a qual resulta de um melhor entendimento do problema e ajuda a reduzir os recursos computacionais necessários e a complexidade na determinação do tempo de processamento. Meta-conhecimento estatístico pode ser usado para ordenar ações tornando mais eficientes o processamento.

Em vez de adicionar mais heurísticas para melhorar o desempenho, mais meta-conhecimento acerca do uso efetivo de heurísticas podem ser coletados e desenvolvidos. Meta-conhecimentos podem também ajudar para a formalização do que sejam as crenças, raciocínio por ausência, interferência em situações de mudanças, e outros, dentro de uma lógica epistêmica.

A fim de projetar um computador que seja eficiente para uma dada aplicação, é necessário caracterizar os programas que serão rodados neste computador. Os resultados obtidos dependem da escolha de estruturas simbólicas apropriadas para representar o conhecimento, e mecanismos de raciocínio para produção de inferências e assimilação de novas informações. Existem quatro critérios para avaliar o tipo de esquema a ser utilizado para representação do conhecimento: *flexibilidade, facilidade de uso, expressividade, e eficiência do processamento.*

#### ☛ Representação distribuída versus local

Na representação local, cada informação é armazenada numa unidade isolada de hardware. Registros que guardam palavras ou valores são exemplos de representação local. Se qualquer falha ocorre na unidade de hardware, todo o conhecimento é perdido. A maioria dos sistemas atuais, simbólicos ou numéricos, utilizam representações locais para porções individuais dos dados.

Na representação distribuída, cada parte de um conhecimento é representado por muitas unidades proporcionalmente à importância do mesmo. A vantagem de tal representação é que ela é mais tolerante à falhas. Não existe uma fronteira fixa entre o que deve ser codificado localmente e o que deve ser codificado de forma distribuída. Em um extremo temos a implementação padrão de um programa LISP, por exemplo, o qual pode ser entendido como uma hierarquia de representações locais. O programa é armazenado como uma unidade de informação. Os dados estruturais usados pelo programa também são armazenados como uma entidade simples. Finalmente, cada parte da informação dentro de uma estrutura de dados é armazenada num endereço de memória. Num outro extremo temos a implementação padrão de uma rede neuronal. Um programa que se utilize da lógica dos predicados, no entanto, não é nem local nem distribuído. O programa completo não é uma entidade simples mas um conjunto de proposições lógicas. Cada sentença, no entanto, é um exemplo de uma representação local.

### ☛ Representações declarativa versus procedural:

Um programa escrito em representação declarativa consiste de um conjunto de fatos específicos que se estabelece a respeito do conhecimento que se tem do mundo e um conjunto de regras que servem para inferir conhecimentos a partir dessas declarações. Na representação procedural, as declarações do programa consistem de passos a serem seguidos na solução do problema. De certa forma uma representação declarativa representa um 'saber' enquanto que representações procedurais expressam um 'saber fazer'..

Representações declarativas são orientadas ao usuário. O significado do todo pode ser deduzido somente pelo significado das partes, independente do seu comportamento histórico.

Infelizmente, programas declarativos são geralmente ineficientes para avaliar, devido ao não-determinismo, aspectos do controle implícito, e conhecimento inconsistente.

Programas procedurais não são tão amigáveis. O programador deve especificar todo o conhecimento que tem acerca do controle, ou seja, do fluxo do processamento e das regras para se acessar a base de dados. A validade das declarações procedurais depende, freqüentemente, de outras declarações procedurais no programa, o que complica a criação e modificação do software. A perda na flexibilidade na programação procedural é compensada pelo ganho na facilidade de representar o conhecimento que se tem acerca do controle de determinado processo. Esquemas procedurais permitem a especificação e a interação direta dos fatos e informações heurísticas, eliminando assim perda de tempo em pesquisas. O meta-conhecimento pode ser facilmente incluído nos procedimentos. Em geral, programas procedurais estão mais preocupadas com técnicas e eficiência da computação, do que com a facilidade de representar o conhecimento.

### ☛ Processamento do conhecimento

Diferentes métodos de raciocínio estão associados com diferentes representações do conhecimento e exigem diferentes suportes arquitetônicos. Defende-se que os humanos raciocinam logicamente quando algum domínio do conhecimento racional esteja envolvido e aplicam o raciocínio baseado na memória para ações ligadas à percepção. Apesar do comportamento inteligente geralmente ter semelhança com o raciocínio lógico, limitando-se o espaço de busca pelo uso de heurísticas, o uso intensivo da memória para lembrar episódios específicos do passado poderia servir de base para outra construção paradigmática equivalente (uma espécie de associacionismo). Raciocínio baseado na memória, ou raciocínio episódico, não usa regras, mas resolve os problemas pela referência direta à memória. As redes neuronais são um exemplo de uma máquina projetada para raciocínio baseado na memória, apesar de poderem ser programadas para realizar raciocínio lógico.

## • Processamento do conhecimento incerto, incompleto e inconsistente

### ◊ *Conhecimento incerto:*

As técnicas de representação do conhecimento convencionais baseados no cálculo de predicados e métodos afins não são adequadas para representar conhecimento do senso comum. Os quantificadores explícitos e implícitos são nebulosos (fuzzy), e os métodos de inferências já mencionados não podem ser normalmente empregados. Os dados estão sujeitos à ruídos, os símbolos tem um significado difuso e as regras de inferência são geralmente incertas com relação ao sucesso ou insucesso de um processamento. Uso de probabilidades e estatística bayesiana são os métodos clássicos para solução destes tipos de impasses. Outras abordagens e técnicas incluem lógica difusa, emprego de fatores de certeza, da teoria de Dempster e Shafer (Chase, 1988) da inferência razoável, etc.

Os principais componentes do problema são: (i) o sistema de codificação usado para representar por meio de proposições ou outras entidades semânticas, o conhecimento; e o sistema inferencial para encontrar resposta às questões do mundo. (ii) o método de tratamento das incertezas e desconhecimentos sobre o assunto. A aplicação das estatísticas Bayesiana para sistemas especialistas parte desses componentes para atribuir probabilidades aos diferentes eventos. O fator de certeza (CF) é usado para decidir entre alternativas. Um CF de uma regra é a medida da relação entre premissas e ações. Uma CF positiva indica que a evidência confirma a hipótese. A teoria de Dempster e Shafer estabelece uma metodologia natural e poderosa para representar e combinar evidências. Ignorância e incertezas são representadas por funções de crença. "Registros que corroboram uma hipótese, 'endorsements'" são registros de informação que afetam hipóteses. Eles podem ser empregados sobre inferências, mas dentro do contexto em que se pretende aplicar a inferência.

### ◊ *Conhecimento incompleto e impreciso:*

A aplicação principal do processamento simbólico está dirigida ao não-determinismo que resulta do fato de que quase todas as atividades inteligentes são, de uma forma geral, pobremente entendidas. O ponto de partida das computações convencionais é o algoritmo determinístico. Nas aplicações de processamento simbólico, muitas vezes, não existe tal algoritmo determinístico. Soluções eficientes para o problema, portanto, requerem um refinamento contínuo de técnicas de computação e podem empregar vários métodos de aquisição de conhecimento. Quando o conhecimento dentro de um domínio da aplicação é incompleto ou incerto, soluções heurísticas são usadas.

Uma heurística é um conhecimento capaz de sugerir ações razoáveis que devem ser seguidas ou não-razoáveis que devem ser evitadas. É óbvio que, sempre que possível, prefere-se usar conhecimento específico, conciso e preciso que se tenha sobre o assunto envolvido na aplicação, além do meta-conhecimento disponível. Infelizmente, as informações necessárias para esse tipo de modelagem são difíceis de adquirir na prática e, quando disponíveis, podem estar incorretas ou serem tantas que seu aproveitamento se torna inviável.

A natureza não-determinística das computações e a falibilidade das heurísticas podem levar às anomalias do paralelismo. Como resultado, quando múltiplos processadores passam a ser orientados por funções heurísticas para uma busca não seqüencial na 'árvore de pesquisa', esta exploração fora de ordem da árvore junto com a poda dos nós indesejáveis, podem resultar ou não numa aceleração, se comparada à seqüencial.

Em adição às heurísticas, outras formas de lógicas por crenças e conhecimentos existem. Métodos tradicionais de raciocínio sofrem do problema definido em lógica como "axioma da omnisciência", o qual refere-se a hipótese pela qual os agentes são suficientemente inteligentes para conhecer todas as fórmulas válidas, ou seja, se uma agente conhece  $p$ , e  $p$  implica  $q$ , então o agente deve conhecer  $q$ . Na vida real, somos certamente "não omniscientes". As recentes formas lógicas introduzidas são mais adequadas que às lógicas tradicionais para modelar crenças de humanos (ou computadores) cuja capacidade de raciocínio é limitada.

#### ⊗ *Processamento do conhecimento inconsistente*

A lógica tradicional é monotônica. Monotonicidade implica que novos axiomas podem ser adicionados à lista dos teoremas prováveis somente quando eles são consistentes. O raciocínio monotônico permite uma lógica flexível e completa, que se aproxima aos modelos humanos associados ao ato de pensar. As motivações para o raciocínio monotônico podem ser classificadas em duas áreas: *raciocínio por falta*, e *raciocínio por mudança do meio*.

Raciocínio por falta é dividido em dois: *exceções à regra* e *lógica auto-epistêmica*. Como o nome diz, exceções à regra permitem tratar fatos do mundo que contrariam relações estabelecidas. A lógica auto-epistêmica permite que se deduzam conclusões acerca de relações para as quais nenhum fato existe na base de dados.

No sistema monotônico, a não-modificação do conhecimento existente permite que dados novos sejam acrescentados sem se ter que reavaliar todos os processos de inferências e resultados obtidos em função de fatos novos contraditórios. Num mundo onde novas descobertas e revisões de crenças são normais, este modelo é, de fato, insuficiente. Corresponde ao comportamento da criança antes que ela aprenda a se acomodar as coisas do mundo. Acomodar uma mudança no meio é importante. Uma sentença inferida por ausência pode ser corrigida a luz de evidências adicionais.

Para tratar o conhecimento inconsistente técnicas capazes de corrigir rapidamente a base de conhecimento são utilizadas. Estes métodos incluem *decodificação explícita*, *inferência aplicada ao sistema*, *redes semânticas*, e *sustentação da verdade*. Na decodificação explícita, o programador é responsável por escrever códigos que atualizem os dados da base quando uma nova declaração é adicionada. Quando empregamos inferência aplicada a sistema, este tem funções decodificadoras que automaticamente buscam por inconsistências na base do conhecimento.

McCarthy e Hayes (Halpern, 1985) têm indicado como ações podem ser descritas usando operadores modais como "normalmente" e "consistente". Sandewall (op. cit.) usou a representação dedutiva de regras não-monotônicas através do operador "a menos que". Raciocínio via redes semânticas é outra técnica para ordenar inferências e raciocínios por ausência, apesar deles terem sido criticados por falta de uma técnica de inferência clara e por não ser um sistema lógico formal suficiente. No sistema de manutenção da verdade de Doyle (op. cit.), os motivos para os *programas crenças* são gravados e mantidos. Estas crenças podem ser revisadas frente a hipóteses contraditórias.

### 8.3 Processamento simbólico seqüencial ou distribuído

#### 8.3.1 Quanto a modularidade da mente

Os pesquisadores têm procurado evidências de um *enfunilamento dentro dos módulos neuronais*, onde muitas respostas de 'baixo nível' são transformadas em menos e menos respostas 'em alto nível', culminando em alguma coisa semelhante a uma célula-conceito, ou algum tipo de 'rede múltipla de neurônios'. Uma alternativa provável para a célula-conceito poderia ser um conjunto de neurônios, digamos uma dúzia, ao fim do *enfunilamento*, os quais disparariam quando o conceito fosse estimulado. Para todos os objetos reconhecíveis existiria uma rede única e um processo de *enfunilamento* que se focaria naquela rede. Existem alternativas mais complexas ao longo de linhas de raciocínio semelhante envolvendo redes que podem ser excitadas de diferentes maneiras em vez de uma maneira fixa. Tais redes seriam os 'símbolos' em nosso cérebro.

Mas será que esse *enfunilamento* é necessário? Talvez um objeto seja identificado por sua simples 'assinatura' no córtex visual, isto é, pela resposta coletiva das células simples, complexas e hiper-complexas. Talvez o cérebro não necessite nenhum reconhecimento adicional para uma forma em particular. Esta teoria, se aceita, colocaria o seguinte problema: Suponha que você esteja olhando para uma cena. Seus registros armazenam a assinatura da cena no seu córtex visual; mas então como você consegue descrever verbalmente a cena? Presumivelmente, na primeira fração de segundo, a assinatura fica impressa no córtex visual, mas a compreensão da cena só ocorre muito mais tarde.

Este é apenas um exemplo do que, para nós, humanos, é um fenômeno comum; a sensação de que alguma coisa está se cristalizando em nossa mente no momento do reconhecimento e que acontece, não quando os raios de luz atingem a nossa retina, mas algum tempo depois, quando alguma parte de nossa inteligência teve a chance de agir, processando os sinais visuais. Esta metáfora com a palavra 'cristalização' consegue nos dar uma bela imagem que podemos correlacionar com a mecânica estatística onde uma miríade de atividades microscópicas e não relacionadas vão produzindo, lentamente, regiões de coerência que vão se expandindo e se consolidando.

Se nós conceituarmos as atividades iniciais dos neurônios como independentes e os resultados finais que se concretizam com o 'disparo' de um 'módulo de neurônios' bem definido, então a palavra cristalização parece bem apropriada.

Um outro argumento que favorece a Teoria do Enfunilamento decorre do fato de que diversas cenas diferentes podem provocar uma mesma sensação. A imagem da sua namorada sorrindo, franzindo a testa, usando um chapéu ou não, pode provocar um mesmo tipo de reação do tipo "Oi querida!".

Para que isso ocorra, algum processo de enfunilamento deve ocorrer em algum ponto, entre o instante que os raios de luz atingem a retina e a 'assinatura' da cena fica impressa no córtex visual e o instante em que as palavras de saudação são pronunciadas. Pode-se argumentar que esse enfunilamento não faz parte do processo de percepção e sim do de verbalização mas esta maneira de particionar o processo não parece lógica posto que a informação obtida não precisaria, necessariamente, ser verbalizada.

O fato de não se ter encontrado esses módulos não implica, evidentemente, na não existência deles. Considerando aspectos de 'redundância', característica de entidades autopoiéticas, podemos imaginar a existência de muitas cópias de um mesmo módulo ou que eles se organizem de forma superposta.

Suponha, por exemplo, que eu queira armazenar, em um computador, frases completas. Os átomos de cada um desses registros são palavras que podem estar em um dicionário. Para formar a frase, bastaria que armazenássemos 'apontadores' para as palavras desse dicionário, ou mesmo para 'trechos de frases' que fossem comuns a muitas expressões. Quanto mais sofisticado fosse o nosso sistema de arquivo, mais independente estaríamos do nível físico, ou seja, os módulos seriam mais semelhantes a um 'software' do que a um 'hardware'.

Somos conduzidos, portanto, a conclusão de que para cada conceito deveria existir um módulo bem definido o qual poderia ser 'disparado', um módulo que seria constituído por um grupo de neurônios, um "complexo nervoso", mais ou menos dentro da TGNS de Edelman (9.1).

O termo atividade mental distingue, no interior do domínio cognitivo, as atividades que tratam dos estímulos e que utilizam, principalmente, processos do tipo "bottom up", freqüentemente modulares, e as atividades que tratam de significados e decisões ("top down"). A percepção e a motricidade, entendendo por isto a programação e a execução do gesto e do movimento completam o quadro que pretendemos delinear. Richard não crê que seja pertinente acrescentar 'caráter consciente' como uma quarta característica das atividades mentais. As atividades mentais com melhor desempenho são em geral muito automatizadas: sua rapidez de execução é condição de sua eficiência. Elas são conscientes geralmente no início da aprendizagem, em situações não familiares ou ainda nas situações conhecidas que requerem conceituação e conscientização destas atividades com fins de comunicação e de tomada de decisão coletiva ou em vista de informação.

Fodor (1983) distingue tratamentos modulares e não modulares. Os tratamentos modulares são tratamentos especializados que têm acesso somente a uma parte da informação disponível no sistema: são, desse modo, autônomos e impermeáveis ao que se passa em outras partes do sistema.

O conceito de Penetrabilidade Cognitiva pode ser entendida de duas maneiras:

- ☞ Disponibilidade para a integração perceptiva de algumas informações não disponíveis no conjunto de estímulos originais".
- ☞ Disponibilidade para a integração perceptiva de todas as informações que o organismo possui, de todas as informações que pode acessar por qualquer dos seus processos cognitivos".

Segundo Fodor, reflexos são 'não inferenciais' e 'encapsulados'. Poderíamos derivar do 'não encapsulamento' dos processos perceptivos a necessidade da Modularidade. A complexidade de se realizar inferências e a penetrabilidade cognitiva têm em comum a necessidade de premissas. É um engano, segundo Fodor, se considerar, a despeito de algumas evidências empíricas, que haja um continuísmo entre a percepção e as demais atividades cognitivas.

Um módulo psicológico seria um sistema computacional encapsulado em termos de informações; uma máquina de inferências cujo acesso à informações estaria restrito pela arquitetura cognitiva geral, portanto relativamente rígida e sempre sujeita a restrições. Podemos visualizar cada módulo como um computador desenhado para determinada finalidade, com um banco de dados próprios e que operaria sob as seguintes condições:

- ☞ As operações que realiza acessam somente às informações contidas em seu banco de dados e os correspondentes estímulos externos associados.
- ☞ Pelo menos alguma informação que é disponível ao processo cognitivo como um todo não está disponível.

Os processos perceptivos são 'dirigidos por entradas' (estímulos), muito rápidos, mandatórios, superficiais, encapsulados do 'conhecimento do organismo', 'do particular para o geral (bottom up)', em sua maior parte específicos e associados a mecanismos neuro-anatômicos. Outras faculdades cognitivas de ordem mais elevada como 'pensamento' e 'solução de problemas' são exatamente diferentes da percepção; lentos, profundos, não locais, tipicamente associados a estruturas neurológicas difusas, nem 'bottom up', nem 'top down', etc. Segundo Richard as atividades mentais são feitas de tratamentos não modulares, pois elas integram informações de natureza muito diversa: informações sobre a situação, conhecimentos relacionais e procedurais e informações sobre a tarefa.

Seguindo essa discussão, as duas principais correntes de pensamento relativas a busca de uma arquitetura cognitiva ideal são: A Arquitetura Simbólica baseada em Regras, proposta por Newell & Simon (1988) e a A Arquitetura Conexionista (Redes Neurais), proposta por McClelland, Rumelhart e Hinton (1988) a qual rejeita a noção de que processos inteligentes consistam na aplicação seqüencial de regras explícitas e que propõe a utilização de processadores em paralelo que disparam sinais de excitação ou inibição para outros processadores, a exemplo dos neurônios.

Em qualquer dos casos, os sistemas computacionais que tentam simular a mente humana se suportam na arquitetura proposta por von Neumann.

Conjuntos de símbolos são movidos de endereços de memória para outros endereços de memória, sendo processados por regras explícitas aplicadas em seqüência.

Outras abordagens importantes são a aplicação dos conjuntos estruturados de regras de ação (Sistemas de Produção) e as metodologias para se determinar detalhes e tempos envolvidos nos processos de resolução de problemas (Análise de Protocolo).

### 8.3.2 Solução de problemas por humanos - Arquitetura simbólica

Vamos considerar um Espaço de Problemas sobre o qual opera um Sistema Humano de Processamento de Informações no sentido de encontrar soluções. Esse Sistema Humano de Processamento de Informações pode ser entendido como sendo composto de:

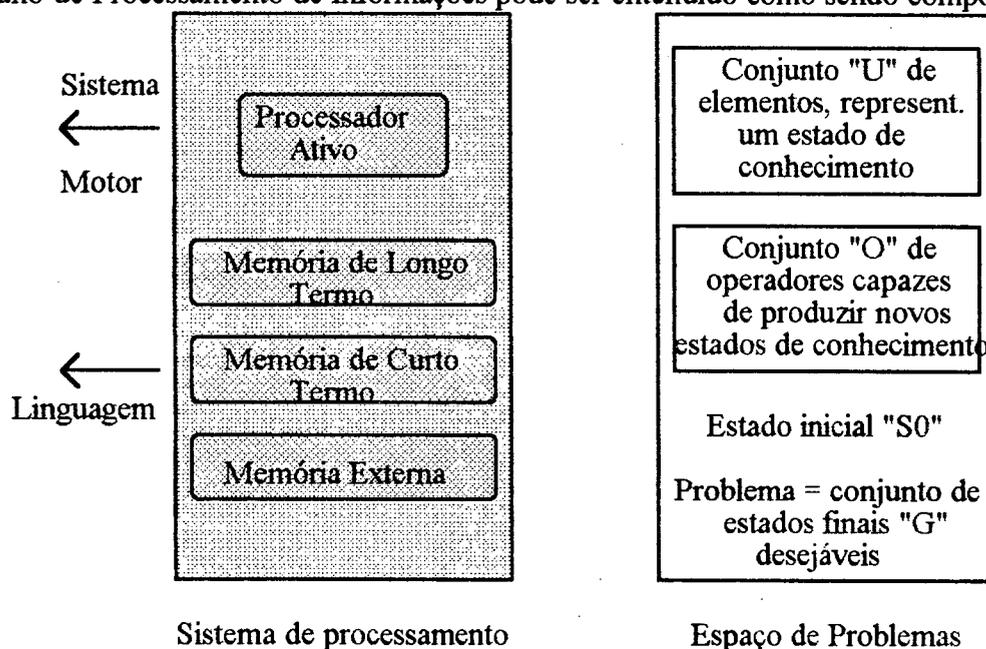


Figura 8.1 Arquitetura simbólica

- Um sistema serial consistindo de um Processador Ativo, entradas; sistema sensorial e saídas; sistema motor, Memória de Longo Termo (LTM), Memória de Curto Termo (STM) e Memória Externa (EM).
- A Memória de Longo Termo tem capacidade ilimitada e é organizada de forma associativa. Seu conteúdo são símbolos ou estruturas de símbolos. Qualquer configuração de estímulos que seja reconhecível é representada na Memória de Longo Termo por um símbolo. Escrever um símbolo novo (que contenha X símbolos familiares) na Memória de Longo Termo leva um tempo de 5 a 10.X segundos. Para se acessar e ler um símbolo da Memória de Longo Termo precisamos de centenas de milissegundos.

- ⊙ A Memória de Curto Termo é capaz de reter de cinco a sete símbolos, mas somente dois relativos a uma determinada tarefa podem ser retidos se uma outra atividade sem correlação estiver sendo executada. O tempo de acesso a qualquer informação na Memória de Curto Termo é desprezível.
- ⊙ Memória de Curto Termo e Memória de Longo Termo são homogêneas na medida em que representam as informações (símbolos) e as manipulam da mesma forma.
- ⊙ Os processos elementares são executados pelo Sistema de Processamento Humano em tempos da ordem de 50 milissegundos, enquanto os tempos mais gerais dependem das taxas de leituras na Memória de Longo Termo e Memória Externa.
- ⊙ Memória Externa (o campo visual imediatamente disponível) tem tempos de acesso da ordem de 100 milissegundos (a sacada) e tempos da ordem de 50 milissegundos para leitura na Memória de Curto Termo. Tempos de escrita são da ordem de 1 segundo por símbolo, para símbolos externos familiares.
- ⊙ O programa associado ao Sistema de Processamento Humano é estruturado como um sistema de produção onde as condições para o disparo de determinada regra se origina na presença do símbolo apropriado na Memória de Curto Termo reforçado pela Memória Externa.
- ⊙ O Sistema de Processamento Humano possui uma classe de estruturas de símbolos, a estrutura por objetivos, que é utilizada para a resolução de problemas.

Por sua vez, o Espaço de Problemas consiste de:

- ⊙ Um conjunto "U" de elementos; cada um desses elementos sendo uma estrutura de símbolos, cada uma representando um estado de conhecimento acerca da tarefa (tabuleiro e peças de xadrez, por exemplo)
- ⊙ Um conjunto "Q" de Operadores; cada um deles um 'processador de informações' que produzem novos estados de conhecimento a partir de estados de conhecimento antigos (os movimentos permitidos para cada peça de xadrez).
- ⊙ Um estado "U<sub>0</sub>" inicial de conhecimento que representa o conhecimento inicial da tarefa detido por aquele que a vai solucionar no início do processo de resolução (a posição inicial das peças de xadrez).
- ⊙ Um problema, que é definido por um conjunto final de estados "G" desejáveis e que devem ser alcançados utilizando-se operadores pertencentes a "Q" (quero obter um cheque-mate).
- ⊙ O Conhecimento total disponível ao solucionador do problema quando este se encontra em um determinado estado de conhecimento, o qual inclui (ordenando-se dos mais transientes aos mais estáveis):

- Informação dinâmica temporária, criada e usada exclusivamente dentro de um estado de conhecimento.
- O Estado de Conhecimento em si mesmo, ou seja, a informação dinâmica acerca da tarefa.
- Informação acessada à estrutura adicional de símbolos existente nas Memória de Longo Termo e Memória Externa (ou estado de conhecimento estendido) (conjunto de regras estáticas que o solucionador do problema ainda não utilizou, mas que estão disponíveis na posição atual do jogo de xadrez)
- Informação quanto ao caminho sobre como uma dada informação chegou à memória e que outras ações se tomou em tais casos se este estado já ocorreu em situações anteriores (já examinei o que aconteceria se eu movesse o meu bispo).
- Informações acessadas à outros estados de conhecimento que foram atingidos anteriormente e que agora estão guardadas na Memória de Longo Termo ou Memória Externa.
- Informações de referência que permanecem constantes durante o solucionamento do problema, disponíveis em Memória de Longo Termo ou Memória Externa (valor das peças, por exemplo).

É preciso, ainda, para completar o nosso cenário, distinguir entre atividades não programadas e atividades programadas. Se para resolver um problema eu encontro um símbolo associado a algum algoritmo, seria mais preciso dizer que estou executando tal e tal algoritmo do que resolvendo um determinado problema. Algoritmos, planejamento e outras atividades são consideradas programadas e, embora façam parte do espaço de problemas, devem ser distinguidas de situações não programadas.

### 8.3.3 Processamento distribuído em paralelo - Arquitetura conexionista

As pessoas são mais hábeis em perceber objetos e suas inter-relações, extrair informações dentro de um contexto, etc, do que as máquinas. As pessoas são mais capazes de aprender com a experiência, fazendo as coisas cada vez com mais perfeição e facilidade. Os proponentes da Arquitetura Conexionista defendem que tais diferenças entre máquinas e homens não se devem somente ao fato de não se ter encontrado o 'software' adequado mas a uma arquitetura de hardware inadequada. Propõem que se imite não só a arquitetura de software como também a arquitetura de hardware dos humanos.

Os modelos de processamento distribuído assumem que o processamento das informações ocorrem pela interação de um grande número de elementos simples de processamento. Chamaremos estes elementos simples de unidades.

Cada unidade é capaz de enviar um sinal de excitação ou inibição à outras unidades as quais, quando disparadas, podem imprimir uma determinada letra (objetivo), mover o polegar esquerdo (ação) ou emitir outros estímulos que vão ativar (ou não) unidades mais complexas, como as que validam hipóteses, analisam a sintaxe de palavras e frases, etc.

Podemos imaginar cada unidade como representando um neurônio. O tipo de decisão a tomar, e isso pode ocorrer cerca de 1000 vezes/ segundo, é se deve ou não **disparar**, isto é, liberar íons através do axônio, os quais, eventualmente, hão de surgir nas portas de entrada de outro(s) neurônios, provocando um processo decisório encadeado. Tal processo decisório é muito simples: Se a soma de todas as 'entradas' for maior que um determinado valor, então **sim**, caso contrário **não**. Algumas das entradas podem ser 'negativas', cancelando outras 'positivas'. O nível estrutural mais baixo da mente se suportaria num simples processo de adição. Parafraseando Descartes, diríamos: "Eu penso, logo somo".

Embora simples, devemos considerar que existem cerca de 20.000 entradas separadas em um neurônio, o que significa uma soma onde 20.000 parcelas estão envolvidas na determinação quanto ao 'disparo' ou não. Uma vez que a decisão é tomada, um pulso de íons viaja pelo axônio até o ponto terminal. No caminho, esses íons podem encontrar uma ou várias bifurcações, de maneira que podem chegar a diferentes destinos em tempos diferentes. Depois de 'disparar', um neurônio precisa de alguns milissegundos para se recompôr e poder responder a um estímulo externo.

Diversas aplicações utilizando modelos por processamento distribuído foram e estão sendo empregadas para simulações nas áreas de controle motor, percepção, memória e linguagem. Para exemplificação consideremos o problema de se alcançar um objeto sem que se caia. Seja uma 'pessoa bi-dimensional'. A cada junta, associemos um processador elementar. Cada processador sabe (recebe informações) da distância entre a palma da mão e o objeto que deseja alcançar e da posição do centro de gravidade com respeito ao pé.

Usando esta duas informações cada processador ajusta o ângulo da junta tentando se aproximar do objeto sem perder o centro de gravidade. Este esquema, embora alcance o resultado desejado, não o faz de forma eficiente visto que cada processador, trabalhando independentemente, ignora a ação dos outros. Uma solução ótima pode ser encontrada adicionando-se processadores associados às combinações dos movimentos. Por exemplo, um para flexão e extensão das pernas que ajustasse as juntas do joelho, quadris e tornozelos.; um para extensão e outro para flexão dos braços.

Em muitos modelos, o conhecimento é armazenado como uma cópia estática de determinado padrão. Para recuperar o conhecimento temos que buscar esse padrão na Memória de Longo Termo e armazená-lo em alguma memória de trabalho. Não há nenhuma diferença real entre a representação armazenada na Memória de Longo Termo e sua representação ativa na memória de trabalho.

Nos Modelos por Processamento Distribuído os padrões não são armazenados. O que se armazena são as forças de conexão entre as unidades que permitam que esse padrão seja recriado. Em outras palavras, o conhecimento é representado de tal forma que influencia o curso do processamento. O conhecimento e o processamento não podem ser visualizados como estando isolados.

As implicações, no que tange a aprendizagem são também profundas. Aprender passa a significar encontrar as conexões e a força dessas conexões, já que os neurônios fazem uma média dos sinais excitatórios e de inibição, de tal forma que um determinado padrão seja reproduzido desde que determinadas circunstâncias ocorram. Observe-se que esta tese, defendida por McClelland, Rumelhart, Hinton, etc., difere da opinião de muitos; Chomsky, Winston, Anderson, etc., de que aprender consiste em formular regras explícitas; proposições, produções, etc., que permitam generalizações de uma forma correta.

Para tornar o nosso modelo ainda mais eficiente, convém que ele seja capaz de aprender com a experiência. Para tanto, um número de diferentes regras para ajustar as forças de conexão foram propostos, sendo as devidas a D. O. Hebb (1949) as mais utilizadas atualmente:

#### 8.4 A arquitetura do quadro negro

Podemos imaginar que, dentro da mente humana, diversos especialistas executam tarefas distintas. Um, por exemplo, é responsável pelas assimilações e acomodações aos fatos do mundo. Outro é responsável pelas representações do conhecimento. Um terceiro transforma o conhecimento em ações que podem afetar o estado do mundo exterior ou feedbacks internos. O quarto especialista é capaz de constantemente checar a consistência das representações que fazemos das coisas do mundo e, finalmente, um quinto é capaz de observar a representação que se faz de si mesmo em caráter recursivo. O modelo proposto assume que o processo cognitivo compreende a ação independente de muitos especialistas distintos. Cada especialista faz decisões tentativas para serem incorporadas em um comportamento geral do indivíduo. Além disso, especialistas diferentes influenciam aspectos diferentes do comportamento.

Todos os especialistas registram suas decisões em uma estrutura de dados comum, chamada de quadro negro. O quadro negro permite aos especialistas interagirem e se comunicarem. Cada especialista pode retirar decisões anteriores, que sejam de seu interesse, do quadro negro, qualquer que tenha sido o especialista que a registrou. O especialista combina estas decisões anteriores dentro de sua heurística própria de tomada de decisões para gerar novas decisões.

O modelo particiona o quadro negro em diversos planos contendo categorias conceptualmente diferentes de decisões. Por exemplo, um plano contém decisões acerca de como atualizar o banco de conhecimentos e regras de inferência associados enquanto outra contém decisões acerca de representações de 'coisas do mundo' que precisam ser modificadas. O modelo, a seguir, particiona cada plano em diversos níveis de abstração. Estes particionamentos servem para duas funções. Primeiro eles permitem uma representação analítica da entidade autopoietica particular que se pretende modelar e, em segundo lugar, restringem o número de decisões anteriores que cada especialista, individualmente, deve considerar para gerar suas próprias decisões. Portanto, a maioria dos especialistas lida com informações que ocorrem em alguns níveis de planos particulares do quadro negro.

### 8.4.1 Especialistas

Os especialistas são modelados como regras de ações condicionadas do tipo <se, então>. O componente condicionante descreve circunstâncias sob as quais o especialista pode contribuir para o comportamento. Ordinariamente, a condição requer que o certas decisões tenham sido tomadas anteriormente. Além disso, por vezes, critérios arbitrários complexos terão que ser satisfeitos.

Por exemplo, um condicionante ao especialista seria a de que ele tomasse decisões anteriores para diversas alternativas na hipótese da ocorrência de determinado evento e posteriormente, identificasse a utilidade dessas alternativas. A componente associada à ação define o comportamento do especialista. A ação pode incluir uma quantidade arbitrária de computações mas sempre resulta na geração de uma nova decisão que modifica a decisão anterior. Os especialistas generalizam as capacidades de manipulação de símbolos das regras de produção.

### 8.4.2 .O quadro negro

O quadro negro contém cinco domínios conceituais: **cognitivo, linguístico, de conduta, de observação e de auto-observação**. Decisões no nível cognitivo representam assimilações ou acomodações aos dados do mundo real. Decisões no nível linguístico correspondem a atualização das descrições que fazemos das coisas do mundo e de nós mesmos

## 8.5 Controle como um Domínio Semântico

*Sintaxe, semântica e pragmática* são parte de qualquer programa de computador o qual, ele mesmo, pode ser visto como um *processador* para sua linguagem de entrada, sendo constituído de duas partes. A primeira parte, o módulo que checa a entrada, o *parser*, lê a entrada e verifica se a sintaxe é apropriada. A segunda parte, o módulo de cálculo, computa a entrada definindo o seu significado através do fornecimento de um resultado. Como o sistema está implementado e como ele é utilizado são problemas concernentes à pragmática.

A área relativa à especificação sintática de uma linguagem utiliza o formato Backus Naur (BNF) que explora a correspondência existente entre a definição BNF de uma linguagem e seu parser. A própria definição da linguagem estabelece o parser que terá que ser construído.

A Semântica Denotacional é uma metodologia para desenvolvimento de Linguagens de Programação que mapeia um programa diretamente em seu significado (chamado 'denotação'). É, portanto, uma ferramenta útil para o processamento simbólico.

Definições relativas à sintaxe abstrata descrevem estruturas. Os blocos de construção da sintaxe abstrata são as palavras; também chamada de *tokens*, como na teoria da compilação. Um exemplo de sintaxe abstrata seria:

*Sintaxe Abstrata**P* ∈ Programa*K* ∈ Bloco*D* ∈ Declaração*C* ∈ Comando*E* ∈ Expressão $P ::= K.$  $K ::= \text{begin } D; C \text{ end}$  $D ::= D1; D2 \mid \text{const } I=N \mid \text{var } I$  $C ::= C1; C2 \mid I:=E \mid \text{while } B \text{ do } C \mid K$  $E ::= E1+E2 \mid I \mid N$ 

Em Semântica Denotacional representamos 'domínios semânticos' através de um formato chamado de 'Álgebra Semântica' o qual apresenta as seguintes características:

- ✦ Estabelece, claramente, a estrutura de um domínio e como seus elementos são usados pelas funções.
- ✦ Encoraja o desenvolvimento de módulos padrões que podem ser reaproveitados em outras definições semânticas.
- ✦ Torna fácil a análise semântica, conceito por conceito.
- ✦ Permite alterar uma definição semântica substituindo-se uma álgebra por outra.

*Domínio Racional* =  $(\mathbb{Z} \times \mathbb{Z})$

*Operações*

*makerat*:  $\mathbb{Z} \rightarrow (\mathbb{Z} \rightarrow \text{Rat})$

*makerat* =  $\lambda p. \lambda q. (q=0) \rightarrow \text{or } (p, q)$

*addrat*:  $\text{Rat} \rightarrow (\text{Rat} \rightarrow \text{Rat})$

*addrat* =  $\lambda (p_1, q_1). \lambda (p_2, q_2). ((p_1 * q_2) + (p_2 * q_1), q_1 * q_2)$

*multrat*:  $\text{Rat} \rightarrow (\text{Rat} \rightarrow \text{Rat})$

*multrat* =  $\lambda (p_1, q_1). \lambda (p_2, q_2). (p_1 * p_2, q_1 * q_2)$

Para completar a definição semântica de uma linguagem precisamos ainda de definir as funções de avaliação, ou seja, como as expressões que significam um programa podem ser simplificados até se obter um 'resultado'. Uma definição completa seria:

*Sintaxe Abstrata**B* ∈ Binário-Numeral*D* ∈ Binária Dígito $B ::= BD \mid D$  $D ::= 0 \mid 1$ *Álgebras Semânticas*

## I. Números Naturais

*Domínio Natural* =  $N$

*Operações*

*zero, um, dois, ....: Nat*

*mais, vezes : Natural x Natural  $\rightarrow$  Natural*

*Funções de Cálculo:*

*B: Binário Numeral  $\rightarrow$  Natural*

*$B[[BD]] = (B[[B]] \text{ vezes dois}) \text{ mais } D[[D]]$*

*$B[[D]] = D[[D]]$*

*D: Binário Dígitos  $\rightarrow$  Natural*

*$D[[0]] = \text{zero}$*

*$D[[1]] = \text{um}$*

A seqüência encontrada nas denotações de programas é, de alguma forma, capaz de nos iludir. O seqüenciamento é um conceito operacional e as definições de funções não contêm nenhum 'seqüenciamento real', não importando o formato. O seqüenciamento é sugerido pelas estratégias de simplificação que empregamos para a notação funcional.

Um passo de simplificação corresponde, falando de forma grosseira, a um passo de avaliação de uma operação.

O estilo que empregamos na semântica denotacional, até agora, é chamado de *semântica direta*. Definições de semântica direta tendem a empregar expressões de baixa ordem, isto é, valores não funcionais e funções sobre esses valores, e enfatizam a estrutura composicional de uma linguagem. A equação  $E [[E1+E2]] = \lambda s. E [[E1]]s \text{ mais } E [[E2]]s$  é um bom exemplo. A equação fornece uma explicação simples da adição livre-de-efeitos-laterais. A ordem, pela qual se calculam os operandos não é importante e qualquer estratégia de simplificação vai trabalhar bem.

Um dos propósitos do método da semântica denotacional é fazer com que os significados construídos dos programas sejam claros sem terem que se suportar em nenhum mecanismo operacional e, sob este aspecto, o desempenho da semântica direta é ótimo.

Linguagens desenvolvidas para aplicações, quer gerais quer de baixo nível, confrontam seus usuários com o conceito de controle. Controle pode ser definido como o cálculo ordenado da construção de um programa. Uma linguagem que promova controle como sua realização principal fornece ao usuário a habilidade de afetar o controle; isto é, de mudar a ordem do cálculo. Controle é um argumento que o usuário pode dimensionar e alterar. Um exemplo de um argumento de controle é a pilha de registros de ativação mantido como suporte na execução de um programa. A pilha contém a informação seqüencial que 'dirige' (drives) o programa e alterar a pilha altera a ordem futura de cálculo do programa.

O argumento semântico que modela o controle é chamado de uma *continuação*. Continuações foram desenvolvidas primeiramente para modelar ramificações não restritas ("gotos") nas linguagens de propósitos gerais, mas sua utilidade em desenvolvimento, cálculo de ordenações não padrões fez com que valesse apenas serem estudadas.

### 8.5.1 Continuações

Considere uma linguagem imperativa semelhante a mostrada abaixo, aumentada com um comando stop semelhante ao utilizado no FORTRAN.

*Locações de armazenagem*

*Domínio*  $l \in \text{Locação}$

*Operações*

*prim-loc* :  $\text{Locação}$

*próx-loc* :  $\text{Locação} \rightarrow \text{Locação}$

*igual-loc* :  $\text{Locação} \rightarrow \text{Locação} \rightarrow \text{Tr}$

*menor\_do\_que-loc* :  $\text{Locação} \rightarrow \text{Locação} \rightarrow \text{Tr}$

Uma memória realística requer um domínio primitivo de locações de memória e o domínio dessas locações é descrito primeiro. *prim-loc* é uma constante, marcando a primeira locação utilizável na memória.

*Próx-loc* mapeia uma locação em seu sucessor imediato; *igual-loc* checa a igualdade entre dois valores e *menor-do-que-loc* compara duas locações e retorna um valor verdade baseado nos valores relativos das locações.

*Valores Denotados*

*Domínio*  $d \in \text{Valores denotados} = \text{Lugar} + \text{Nat} + \text{Valor-de-erro}$

onde  $\text{Valor-de-erro} = \text{Unit}$

A coleção de valores que os identificadores podem representar é listado a seguir. Dos três componentes do domínio dos valores denotáveis, o domínio *locação* denota os identificadores variáveis, o domínio *nat* serve para os identificadores constantes e *valor-de-erro* abrange os identificadores não declarados.

*Ambiente*: um mapa para os valores denotáveis e o lugar máximo de armazenagem.

*Domínio*  $d \in \text{Locação} = (\text{Id} \rightarrow \text{Valor denotado}) \times \text{Locação}$

*Operações*

*ambiente-vazio*:  $\text{Locação} \rightarrow \text{Ambiente}$

*ambiente-vazio* =  $\lambda l. ((\lambda i. \text{inValor-de-erro } ()), l)$

*ambiente-acesso*:  $\text{Id} \rightarrow \text{Ambiente} \rightarrow \text{Valor Denotado}$

*ambiente-acesso* =  $\lambda i. l(\text{map}, l). \text{map}(i)$

*ambiente-atualiza*:  $\text{Id} \rightarrow \text{Valor denotado} \rightarrow \text{Ambiente} \rightarrow \text{Ambiente}$

*ambiente-atualiza* =  $\lambda i. \lambda d. l(\text{map}, l). ([ i \rightarrow d ] \text{map}, l)$

$$\begin{aligned} \text{reserva-lugar: Ambiente} &\rightarrow (\text{Lugar} \times \text{Ambiente}) \\ \text{reserva-lugar} &= l(\text{map}, l).(l, (\text{map}, \text{próx-loc}(l))) \end{aligned}$$

Para esta linguagem, um ambiente é um par. O primeiro componente é a função que mapeia identificadores aos seus valores denotáveis. O segundo componente é um valor de locação, que assinala a extensão de memória reservada para variáveis declaradas. Neste exemplo, o ambiente assume a responsabilidade de atribuir locações às variáveis. Isto é feito pela operação *reserva-lugar*, que retorna a próxima locação utilizável. Embora não tenha se tornado claro pela álgebra, a estrutura da linguagem provocará que as locações sejam usadas de uma maneira tipo pilha. Ao operador *ambiente-vazio* deve ser atribuído a primeira locação marcando o início do espaço utilizável.

*Valores armazenáveis*

$$\text{Domínio } v \in \text{Valores armazenáveis} = \text{Nat}$$

A memória é um mapa de locações da memória para valores armazenáveis em memória e as operações são as óbvias.

*Memória*

$$\text{Domínio } s \in \text{Memória} = \text{Locação} \rightarrow \text{Valores armazenáveis}$$

*Operações*

$$\text{acesso: Locação} \rightarrow \text{Memória} \rightarrow \text{Valores armazenáveis}$$

$$\text{acesso} = \lambda l. \lambda s. s(l)$$

$$\text{atualiza: Locação} \rightarrow \text{Valores Armazenáveis} \rightarrow \text{Memória} \rightarrow \text{Memória}$$

$$\text{atualiza} = \lambda l. \lambda v. \lambda s. ([ l \rightarrow v ] s)$$

*Memória de execução, etiquetado com o estado da computação*

$$\text{Domínio } p \in \text{Pós armazenagem} = \text{O.K.} + \text{Erro}$$

$$\text{onde O.K.} = \text{Erro} = \text{Memória}$$

*Operações*

$$\text{return: Memória} \rightarrow \text{Pós armazenagem}$$

$$\text{return} = \lambda s. \text{inOK}(s)$$

$$\text{sinaliza-erro: Memória} \rightarrow \text{Pós armazenagem}$$

$$\text{sinaliza-erro} = \lambda s. \text{inErro}(s)$$

$$\text{check: (Memória} \rightarrow \text{Pós armazenagem } \_ \text{ind}) \rightarrow (\text{Pós armazenagem } \_ \rightarrow$$

$$\text{Pós armazenagem } \_)$$

$$\text{check} = \lambda p \text{ cases } p \text{ of}$$

$$\text{isOK}(s) \rightarrow (fs)$$

$$\text{or is Err}(s) \rightarrow p \text{ end}$$

O cálculo de um stop em um programa provoca uma ramificação para o fim do programa, cancelando o cálculo de todas as proposições remanescentes. A saída que o programa produz é aquela que é suprida como um argumento para o comando stop. A semântica de um comando stop pode ser manipulada dentro da semântica direta aplicando-se a técnica empregada na figura abaixo para capturar valores de erro,

*Sintaxe Abstrata*

*P*  $\in$  Programa

*B*  $\in$  Bloco

*D*  $\in$  Declaração

*C*  $\in$  Comando

*E*  $\in$  Expressão

*B*  $\in$  Expressão booleana

*I*  $\in$  Identificador

*N*  $\in$  Numeral

$P ::= K.$

$K ::= \text{begin } D; C \text{ end}$

$D ::= D1; D2 \mid \text{const } I=N \mid \text{var } I$

$C ::= C1; C2 \mid I:=E \mid \text{while } B \text{ do } C \mid K$

$E ::= E1+E2 \mid I \mid N$

*Álgebras Semânticas*

*I. Números Naturais*

*II. Valores verdade*

*III. Identificadores*

*IV. Valores expressáveis*

*Domínio*  $x \in$  *Valores expressáveis* = Nat + *Valor-de-erro*  
onde *Valor-de-erro* = Unit

*V*, *-X* *definido anteriormente*

*Funções de Cálculo:*

*P*: Programa  $\rightarrow$  *Localção*  $\rightarrow$  *Memória*  $\rightarrow$  *Pós armazenagem*<sub>—</sub>

$P[[K.]] = \lambda l..K[[K]](\text{ambiente-vazio } l)$

*K*: Bloco  $\rightarrow$  *Ambiente*  $\rightarrow$  *Memória*  $\rightarrow$  *Pós armazenagem*<sub>—</sub>

$K[[\text{begin } D; C \text{ end}]] = \lambda e. C[[C]](D[[D]]e)$

*D*: Declaração  $\rightarrow$  *Ambiente*  $\rightarrow$  *Ambiente*

$$D[[D1;D2]] = D[[D2]] \circ D[[D1]]$$

$$D[[const I=N]] = \text{atualiza-ambiente } [[I]] \text{ inNat}(N[[N]])$$

$$D[[var I]] = \text{let}(l',e') = (\text{reserva-lugar } e) \text{ in}(\text{atualiza-ambiente } [[I]] \text{ inLoca\c{c}o}(l') e')$$

C: Comando  $\rightarrow$  Ambiente  $\rightarrow$  Mem3ria  $\rightarrow$  P3s armazenagem

$$C[[C1;C2]] = \lambda e. (\text{check } (C[[C2]]e)) \circ (C[[C1]]e)$$

$$C[[I::=E]] = \lambda e. \lambda s. \text{cases } (\text{acessa-ambiente } [[I]]e) \text{ de} \\ \text{isLoca\c{c}o}(l) \rightarrow (\text{cases } (E[[E]]s) \text{ de} \\ \text{isNat}(n) \rightarrow (\text{return}(\text{atualiza } l \ n \ s)) \\ \text{or isValor-de-erro}() \rightarrow (\text{sinaliza-erro } s) \text{ end}) \\ \text{or is Nat}(n) \rightarrow (\text{sinaliza-erro } s) \\ \text{or is Valor-de-erro}() \rightarrow (\text{sinaliza-erro } s) \text{ end}$$

$$C[[while B do C]] = \lambda e. \lambda s. \lambda f. \lambda s. \text{cases } (B[[B]]e \ s) \text{ de} \\ \text{isTr}(t) \rightarrow (t \rightarrow (\text{check } f) \circ (C[[C]]e) \text{ or return})(s) \\ \text{or isValor-de-erro}() \rightarrow (\text{sinaliza-erro } s) \text{ end}$$

$$C[[K]] = K[[K]]$$

E: Express3o  $\rightarrow$  Ambiente  $\rightarrow$  Mem3ria  $\rightarrow$  Valores express3veis (omitido)

B: Express3o booleana  $\rightarrow$  Ambiente  $\rightarrow$  Mem3ria  $\rightarrow$  (Tr + Valor-de erro) (omitido)

N: Numeral  $\rightarrow$  Natural (omitido)

O que n3s desejamos, no entanto, 3 modelar a mudan\c{c}a provocada pelo controle de forma mais direta. Uma solu\c{c}o consiste em adicionar um argumento de controle na pilha 3 fun\c{c}o sem3ntica. A pilha de controle mant3m uma lista de todos os comandos que s3o necess3rios para serem calculados. A Fun\c{c}o de Valora\c{c}o acessa repetidamente a pilha, fazendo saltar para cima o comando existente no topo da pilha e executando-o. Uma pilha vazia significa que o c3lculo est3 completo e um comando de stop encontrado no topo da pilha provoca que os comandos remanescentes sejam descartados. A Fun\c{c}o de Valora\c{c}o para comandos tem funcionalidade:

C: Comando  $\rightarrow$  Ambiente  $\rightarrow$  Controle de Pilha  $\rightarrow$  Mem3ria  $\rightarrow$  Mem3ria

onde  $c \in$  Controle de Pilha = (Controle de Pilha  $\rightarrow$  Mem3ria  $\rightarrow$  Mem3ria).

A express3o  $(C[[C]]e \ c \ s)$  se parece com uma configura\c{c}o do tipo interpretador onde  $(C[[C]]e)$  3 o topo do controlador de pilha,  $c$  3 o resto da pilha e  $s$  3 o argumento usual de armazenagem. Um fragmento da fun\c{c}o C:

$$C[[C1;C2]] = \lambda e. \lambda c. \lambda s. C[[C1]]e ((C[[C2]]e) \text{ cons } c) \ s$$

$$C[[I:=E]] = \lambda e. \lambda c. \lambda s. (\text{hd } c) \ (\text{tl } c) \ (\text{atualiza}(\text{acessa-ambiente } [[I]]e) \ s) \ s$$

...

$$C[[stop]] = \lambda e. \lambda c. \lambda s. s$$

Podemos obter, em semântica denotacional, uma definição elegante para um 'loop' tipo 'while':

$$C[[\text{while } B \text{ do } C]] = \lambda e. \lambda c. \lambda s. B[[B]]e \text{ s} \rightarrow C[[C]]e ((C[[\text{while } B \text{ do } C]]e) \text{ cons } c) \text{ s} \\ \text{or } (\text{hd } c) (\text{tl } c) \text{ s}$$

o que deixa claro que o controle retorna ao topo do loop depois de calcular-se o corpo do loop.

Sempre que a pilha  $c$  é 'popped', ou seja, quem está por cima da pilha salta para fora, o argumento de  $\text{hd } c$  ('head', cabeça) é sempre dado por  $\text{tl } c$  ('tail', cauda). Os passos de simplificação são encurtados se a semântica de  $[[C1;C2]]$  é escrita de tal forma que  $[[C[[C2]]]e]$  assume  $c$  como seu argumento na hora que for empurrado da pilha. A pilha pode ser substituída por uma função. Esta nova função é uma continuação (comando). Seu domínio é  $c \in \text{Cmdcont} = \text{Memória} \rightarrow \text{Memória}$ . O fragmento de linguagem agora é lido:

$$\begin{aligned} C: \text{Comando} &\rightarrow \text{Ambiente} \rightarrow \text{Cmdcont} \rightarrow \text{Cmdcont} \\ C[[C1;C2]] &= \lambda e. \lambda c. C[[C1]]e (C[[C2]]e c) \\ C[[I:=E]] &= \lambda e. \lambda c. \lambda s. c (\text{atualiza}(\text{acessa-ambiente } [[I]]) (E[[E]]e s) s) \\ C[[\text{stop}]] &= \lambda e. \lambda c. \lambda s. s \\ C[[\text{if } B \text{ then } C1 \text{ else } C2]] &= \lambda e. \lambda c. \text{escolhe}(B[[B]]e) (C[[C1]]e c)(C[[C2]]e c) \\ C[[\text{while } B \text{ do } C]] &= \lambda e. \lambda c. \text{fix}(\lambda c'. \text{escolhe}(B[[B]]e) (C[[C]]e c') c) \\ \text{onde } \text{escolhe}: &(\text{Memória} \rightarrow \text{Tr}) \rightarrow \text{Cmdcont} \rightarrow \text{Cmdcont} \rightarrow \text{Cmdcont} \\ \text{escolhe } b \ c1 \ c2 &= \lambda s. (b \ s) \rightarrow (c1 \ s) \text{ or } (c2 \ s) \end{aligned}$$

O argumento de continuação ' $c$ ', em cada uma das cláusulas, representa o 'resto do programa'. A equação relativa ao loop `while` é, agora, um último ponto fixo sobre o argumento de continuação em vez da memória, posto que agora o problema traduzido pelo loop é colocado sob a forma: "Como o restante do programa aparecerá dado que o loop definido pelo `while` pode reaparecer um número ilimitado de vezes?". Comparando essa equação com aquela onde usamos um controle de pilha poderemos tirar as conclusões desejadas de forma mais fácil.

A figura mostrou um programa e sua continuação semântica. A continuação aninhada lembra a forma de uma composição de funções que pode ser abandonada no caso de ocorrer determinada condição extraordinária; por exemplo, um comando do tipo 'stop'. Demonstra-se desta forma a utilidade de continuações posto que a composição normal de funções não poderia ser abandonada em uma definição empregando semântica direta.

As abstrações nas equações semânticas são todas não estritas. As continuações eliminam a necessidade de abstrações estritas sobre a armazenagem de argumentos. Pode-se ver a razão para a definição para o loop do `while`: o valor de  $(C [[\text{while } B \text{ do } C]]e c s)$  é indefinido, se e somente se todas as expansões finitas do loop mapeie  $s$  a algo indefinido, se e somente se ' $c$ ' não é aplicado a qualquer memória em qualquer expansão finita. O resto do programa (isto é, ' $c$ ') nunca é alcançado quando se cai numa situação de 'loop forever'.

Uma equação semântica  $C[[C]] = \lambda c.\lambda s. c(\dots s\dots)$  define um construtor  $[[C]]$  o qual se tem a garantia de que vai terminar, posto que  $c$  é aplicado à memória atualizada. Uma equação  $C[[C]] = \lambda c.\lambda s.( \dots )c s$  define um construtor cuja terminação não é garantida, se ambos;  $c$  e  $s$ , são levados sozinhos para uso pelo  $( \dots )$ .

Desde que uma continuação representa a computação completa de um programa sobre uma memória, a continuação pode conter alguma instrução final de 'limpa tudo' que produza uma saída final. Por exemplo, a continuação 'finish' empregada na figura abaixo poderia também ser definida como  $\text{finish} = (\lambda s. "done")$ , a qual poderia fazer todos os comandos de continuação em mapeamentos de memórias para cadeias de caracteres. A forma geral do domínio do comando de continuação é:

$$c \in \text{Cmdcont} = \text{Memória} \rightarrow \text{Resposta}$$

onde resposta pode ser o domínio de memórias, buffers de saída, mensagens ou o que quer que seja. A generalização faz com que as continuações sejam extremamente apropriadas para a manipulação de saídas não usuais.

Let  $C_0 = C_1;C_2;\text{stop};C_1$

|  $C_1 = X:=1$

|  $C_2 = \text{while } X > 0 \text{ do } C_3$

|  $C_3 = X:= X - 1$

$C[[C_0]]e_1 \text{ finish } s_1$

| onde  $e_1 = (\text{atualiza-ambiente } [[X]]l_0 e_0)$

| e  $\text{finish} = (\lambda s.s)$

$C[[C_1]]e_1 (C[[C_2;\text{stop};C_1]]e_1 \text{ finish}) s_1$

|

$(\lambda c.\lambda s.c (\text{atualiza}(\text{acessa-ambiente } [[X]] e_1) (E[[[]]] e_1 s) s))$

$(C[[C_2;\text{stop};C_1]]e_1, \text{finish}) s_1$

|

$(C[[C_2]]e_1 (C[[\text{stop};C_1]]e_1 \text{ finish})) (\text{atualiza } l_0 \text{ um } s_1)$

|

-----s2-----

fix F s<sub>2</sub>

| onde  $F = \lambda c'. \text{escolhe } (B[[X>0]]e_1) (C[[C_3]]e_1 c')c_1$

| onde  $c_1 = C[[\text{stop};C_1]]e_1 \text{ finish}$

$(B[[X>0]]e_1 s_2) \rightarrow (C[[C_3]]e_1 (\text{fix } F) s_2) \text{ or } (c_1 s_2)$

|

```

C[[C3]]e1 (fix F) s2)
|
(fix F) (update l0 zero s2)
| -----s3-----
|
(B[[X>0]]e1 s3) -> (C[[C3]]e1 (fix F) s3) or (c1 s3)
|
(c1 s3)
|
C[[stop]]e1 (C[[C1]] e1 finish) s3
|
s3

```

### 8.5.2 Outros níveis de continuações

As equações semânticas definidas anteriormente mostram que a função de cálculo de um comando pode ser escrita no estilo de continuação e coexistir com outras funções de cálculo escritas no estilo direto.

Apesar disso, vamos considerar a representação dessas funções de cálculo para expressões no estilo continuação. Lembremos que  $E: \text{Expressão} \rightarrow \text{Ambiente} \rightarrow \text{Memória} \rightarrow \text{Valor Exprimível}$  é a funcionalidade da função de cálculo. Na forma continuação, o cálculo de expressões se quebra em passos explícitos. Em nossa analogia com controladores de pilhas, uma continuação de expressão se assemelha com uma pilha de passos de cálculos capazes de computar o seu valor. Continuação de expressões, para algumas expressões, criarão valores intermediários que devem ser salvos ao longo do caminho. Este fato sugere:

$$k \in \text{Exprcont} = \text{Valor Exprimível} \rightarrow \text{Memória} \rightarrow \text{Resposta}'$$

O argumento do Valor Exprimível para uma continuação de expressão é o valor intermediário da expressão calculada parcialmente. Consideremos o domínio Resposta'. As equações semânticas para algumas construções relativas às expressões podem ser lidas como:

$$\begin{aligned}
&E: \text{Expressão} \rightarrow \text{Ambiente} \rightarrow \text{Exprcont} \rightarrow \text{Memória} \rightarrow \text{Resposta}' \\
&E[[E1+E2]] = \lambda e. \lambda k. E[[E1]]e (\lambda n_1. E[[E2]]e (\lambda n_2. k(n_1 \text{ plus } n_2))) \\
&E[[I]] = \lambda e. \lambda k. \lambda s. k(\text{acessa-ambiente}[[I]] e)s \\
&E[[N]] = \lambda e. \lambda k. k(N[[N]])
\end{aligned}$$

Observe como os passos na expressão de adição são soletrados pela continuação aninhada:  $[[E1]]$  calcula e se liga a  $n_1$ ;  $[[E2]]$  calcula e se liga a  $n_2$ ; e  $k$ , o cálculo subsequente, toma conta de  $(n_1 \text{ plus } n_2)$ .

Como é que a expressão de continuação se integra com as continuações de comando? A resposta está ligada a estrutura de Resposta'. Se a última resposta de uma expressão é o valor da expressão, isto é, Resposta' = Valor-exprimível, então dois diferentes níveis de controle resultam; controle ao nível de expressão e controle ao nível de comando. A interface entre os dois é um pouco estranha:

$$C[[I:=E]] = \lambda e. \lambda c. \lambda s. c(\text{atualiza}(\text{acessa-ambiente } [[I]]e) E[[E]] \text{ e fin } s) \\ \text{onde fin e Exprcont é fin} = \lambda n. \lambda s. n$$

Se Resposta' = Resposta, então os dois níveis de controle se integram elegantemente:

$$C[[I:=E]] = \lambda e. \lambda c. \lambda s. E[[E]]e (\lambda n. \lambda s'. c(\text{atualiza}(\text{acessa-ambiente } [[I]] e) n s')) s$$

Agora Exprcont = Valor-exprimível  $\rightarrow$  Cmdcont, o que torna claro que o propósito de uma série de passos para cálculos de expressões é produzir um valor e retornar ao nível de controle de comando. Em uma implementação o código para cálculo de expressões existe na mesma pilha de controle que o código que calcula comandos.

De uma forma similar poderíamos introduzir continuações em outras funções de cálculo de uma linguagem. Mesmo as operações das álgebras semânticas poderiam ser convertidas. Como um exemplo, uma versão completamente seqüencial de uma atribuição (assignment) teria:

$$C[[I:=E]] = \lambda e. \lambda c. \text{acessa-ambiente}' [[I]]e (\lambda l. E[[E]]e (\lambda n. \text{atualiza}' l n c)) \\ \text{onde acessa-ambiente': Identificador} \rightarrow \text{Ambiente} \rightarrow (\text{Localção} \rightarrow \text{Cmdcont}) \rightarrow \\ \text{Cmdcont} \\ \text{acessa-ambiente}' = \lambda i. \lambda e. \lambda m. m(e(i)) \\ \text{e atualiza': Localção} \rightarrow \text{Valor-exprimível} \rightarrow \text{Cmdcont} \_ . \text{Cmdcont} \\ \text{atualiza}' = \lambda l. \lambda n. \lambda c. \lambda s. c([l \rightarrow n]s)$$

Uma atribuição determina o valor do seu lado esquerdo primeiro, depois o valor do seu lado direito e, depois, atualiza.

### ☛ Mecanismos de Exceções

Continuações podem ser empregadas para desenvolver mecanismos de manipulação (*handling*) de exceções. Um *handler* para exceções é um procedimento que é disparado na ocorrência de uma situação extraordinária que não pode ser manipulada pela ordem usual de avaliação. O controle transfere, então, o processo ao *handler* de manipulação de exceções o qual ajusta o estado de forma que a programação possa continuar. *Handlers* de exceção de diversas formas podem ser encontradas nas mais diferente linguagens como PL/1, ML, CLU, Ada, Scheme e muitas outras linguagens.

Quando se passa o controle para um *handler* de exceção, temos uma continuação que representa o resto do programa a ser executado e uma memória do estado atual do processamento. O handler repara a memória levando em conta a exceção e passa o controle para uma continuação que representa o restante do programa a ser computado.

Uma exceção é sinalizada por `[[raise I]]`, interrompe o programa, o qual descarta a continuação existente e extrai, do meio, a continuação `[[I]]`. O handler `[[on I do C]]`, em caso de interrupção realize o processamento *C*, é aplicado então à memória e fica com o controle até a continuação representada pelo comando que se segue a um bloco *begin-end*.

Parece, a primeira vista, estranho que a continuação 'c' na configuração (C[[raise I]] e c s) seja descartada. Isto sugere que o plano completo de avaliação seja abandonado quando se evoca um handler de exceções. O que ocorre de fato é que a continuação atribuída ao handler se superpõe àquela que foi descartada e os comandos que se seguem ao bloco ativo corrente são avaliados como planejado.

### **Sintaxe Abstrata**

*D* ∈ Declaração

*C* ∈ Comando

*I* ∈ Identificador

$D ::= DI; D2 | \dots | \text{on } I \text{ do } C$

$C ::= \text{begin } D; C \text{ end} | \dots | \text{raise } I$

### **Álgebras Semânticas**

#### *I. Saídas do Programa*

*Domínio Resposta* = (Memória + Cadeia\_De\_Caracteres)

#### *II. Comandos de continuação*

*Domínio* *c* ∈ *Cmdcont* = Memória → Resposta

*Operações*

*hn* : *Cmdcont*

$hn = \lambda s. \text{inMemória}(s)$

*err* : *Cmdcont*

$err = \lambda s. \text{in Cadeia-De-Caracteres ("error")}$

#### *III. Valores expressáveis*

*Domínio* *Valores expressáveis* = *Cmdcont* + Nat + ...

#### *IV. Ambiente*

*Domínio* *e* ∈ *Ambiente* = Identificador → *Valores\_Denotáveis*

*Operações (usuais)*

**Funções de Cálculo:**

*D*: Declaração  $\rightarrow$  Ambiente  $\rightarrow$  Cmdcont  $\rightarrow$  Ambiente

$D[[D_1;D_2]] = \lambda e.\lambda c.D[[D_2]] (D[[D_1]] e c) c.$

$D[[on I do C]] = \lambda e.\lambda c. atualiza [[I]] inCmdcont(C[[C]] e c) e.$

*C*: Comando  $\rightarrow$  Ambiente  $\rightarrow$  Cmdcont  $\rightarrow$  Cmdcont

$C[[begin D;C end]] = \lambda e.\lambda c. C[[C]] (D[[D]] e c) c.$

$C[[raise I]] = \lambda e.\lambda c. cases\ acessa\_ambiente\ [[I]]\ e)\ de$

$isCmdcont(c) \rightarrow c$

$or\ isNat(n) \rightarrow erro$

$or\ \dots\ end$

### • Mecanismos de Backtracking

Uma variante útil do handling de exceção é o 'desfazimento (undoing)' dos passos de avaliação até uma configuração que seja segura. Esta versão do handling de exceção é chamada de 'backtracking'.

*Backtracking* é uma realização natural de linguagens de programação projetadas para heurísticas de solução de problemas. Se uma determinada estratégia de solução de um problema falha, faz-se o backtracking para uma configuração que permita que uma estratégia alternativa seja aplicada. Essas 'estratégias' podem, de fato, ser analisadas como continuações.

A forma de se adicionar essa característica em uma linguagem consiste em se projetar uma 'continuação por fracasso'. A continuação que representa a seqüência de avaliação usual é chamada de 'seqüência de sucesso'. A continuação por fracasso é acionada sempre que determinada heurística não conduz ao resultado desejado, tornando necessário o *backtracking*.

A manutenção da continuação por fracasso é feita por certos construtores dentro da linguagem: definições de handlers de exceção; construtores de escolha; pontos de 'cut' e outros. A figura abaixo apresenta uma linguagem de programação que se assemelha à versão proposicional de PROLOG.

A 'continuação de sucesso' é construída a partir de sub-objetivos estabelecidos no construtor conjuntivo  $[[C_1;C_2]]$ . A 'continuação por fracasso' é atualizada pelo construtor de escolhas  $[[C_1\ ou\ C_2]]$ , o qual escolhe a estratégia indicada pelo objetivo  $[[C_1]]$  e salva a estratégia alternativa  $[[C_2]]$  na continuação de falha; e pela construção de um ponto de parada  $[[cut]]$ , o qual desabilita o backtracking além do ponto marcado. A continuação de sucesso é aplicada quando um ponto final  $[[sucesso\_com\_F]]$  é encontrado. Nesse ponto a memória é atualizada com o valor encontrado. De forma semelhante a continuação por fracasso é aplicada quando um construtor  $[[fail]]$  é encontrado. O construtor 'ou' salva a memória em sua continuação por fracasso de tal forma que as atualizações que haviam sido feitas em decorrência da aplicação de uma estratégia que não obteve sucesso possam ser desfeitas. Este tratamento da memória viola a seqüencialidade usual do processo de armazenagem.

**Sintaxe Abstrata** $P \in \text{Programa}$  $D \in \text{Declaração}$  $C \in \text{Comando}$  $I \in \text{Identificador}$  $F \in \text{Operador\_Primitivo}$  $P ::= D. \mathcal{C} \mid D ::= D_1; D_2 \mid I \leftarrow C$  $C ::= C_1; C_2 \mid C_1 \text{ ou } C_2 \mid I \mid \text{sucesso\_com\_F} \mid \text{fail} \mid \text{cut}$ **Álgebras Semânticas****I. Saídas do Programa** $\text{Domínio Resposta} = \text{Memória} + \text{Cadeia\_De\_Caracteres}$ **II. Memórias** $\text{Domínio } s \in \text{Memória}$ **III. Continuações** $\text{Domínio } c \in \text{Cmdcont} = \text{Memória} \rightarrow \text{Resposta}$  $fc \in \text{Controle\_De\_Falha} = \text{Cmdcont}$  $sc \in \text{Controle\_de\_Sucesso} = \text{Controle\_De\_Falha} \rightarrow \text{Cmdcont}$ **Operações** $\text{sucesso} : \text{Controle\_de\_Sucesso}$  $\text{sucesso} = \lambda fc. \lambda s. \text{inMemória}(s)$  $\text{falha} : \text{Controle\_De\_Falha}$  $\text{falha} = \lambda s. \text{inCadeia-De-Caracteres} ("falha")$ **IV. Estratégias de Avaliação** $\text{Domínio Estratégia} = \text{Controle\_De\_Sucesso} \rightarrow \text{Controle\_De\_Falha} \rightarrow \text{Cmdcont}$ **V. Ambiente** $\text{Domínio } e \in \text{Ambiente} = \text{Identificador} \rightarrow \text{Estratégia}$ **Operações** $\text{ambiente-vazio} : \text{Ambiente}$  $\text{ambiente-vazio} = \lambda i. (\lambda sc \lambda fc. fc)$  $\text{acessa-ambiente} : \text{Identificador} \rightarrow \text{Ambiente} \rightarrow \text{Estratégia (usual)}$  $\text{atualiza-ambiente} : \text{Identificador} \rightarrow \text{Estratégia} \rightarrow \text{Ambiente} \rightarrow \text{Ambiente (usual)}$

**Funções de Cálculo:**

*P*: Programa  $\rightarrow$  Cmdcont

$P[[D; \mathcal{C}]] = C[[C]] (D[[D]] \text{ ambiente-vazio) sucesso falha}$

*D*: Declaração  $\rightarrow$  Ambiente  $\rightarrow$  Ambiente

$D[[D_1; D_2]] = D[[D_2]] \circ D[[D_1]]$

$D[[I \leftarrow C]] = \lambda e. \text{atualiza-ambiente } [[I]](C[[C]]e)$

*C*: Comando  $\rightarrow$  Ambiente  $\rightarrow$  Estratégia

$C[[C_1; C_2]] = \lambda e. \lambda sc. C[[C_1]]e (C[[C_2]])e sc)$

$C[[C_1 \text{ ou } C_2]] = \lambda e. \lambda sc. \lambda fc. \lambda s. C[[C_1]]e sc (\lambda s'. C[[C_2]] e sc fc s) s$

$C[[I]] = \text{acessa-ambiente } [[I]]$

$C[[\text{sucesso\_com\_}F]] = \lambda e. \lambda sc. \lambda fc. \lambda s. sc fc (F[[F]]s)$

$C[[\text{falha}]] = \lambda e. \lambda sc. \lambda fc. fc$

$C[[\text{cut}]] = \lambda e. \lambda sc. \lambda fc. sc falha$

*F*: Operador\_Primitivo  $\rightarrow$  Memória  $\rightarrow$  Memória (omitido)

**8.5.3 Mecanismos de co-rotinas**

Um sistema de continuações tal que umas ativam as outras pode ser utilizado para projetar um 'Sistema de co-rotinas'. Diferentemente das subrotinas, co-rotinas não precisam completar todos os passos correspondentes à sua continuação para passar o controle para outra co-rotina.

Uma configuração de programa consiste em uma coleção de continuações parcialmente completadas, representando as co-rotinas do sistema. Chamemos esta coleção de 'Ambiente de co-rotinas'. Quando disparamos uma nova co-rotina, o que acontece em primeiro lugar é que a continuação ativa corrente é salva nesse 'Ambiente de co-rotinas'. A seguir seleciona-se desse ambiente a co-rotina que queremos disparar, a qual passa a controlar a configuração.

Uma linguagem que suporta co-rotinas é apresentada abaixo:

**Sintaxe Abstrata**

*B*  $\in$  Bloco

*D*  $\in$  Declaração

*C*  $\in$  Comando

*I*  $\in$  Identificador

$B ::= D; \text{ inicialize } I$

$D ::= D_1; D_2 | \text{co-rotina } I = C$

$C ::= C_1; C_2 | \text{resume } I | I ::= E$

## Álgebras Semânticas

### I. Comandos de Continuações

Domínio  $\text{Cmdcont} = \text{Memórias} \rightarrow \text{Resposta}_-$

### II. Continuações de co-rotinas e o Ambiente que as mantém

Domínio  $c \in \text{Co-Rotina-cont} = \text{Co-Rotina-amb} \rightarrow \text{Cmdcont}$

$e \in \text{Co-Rotina-amb} = ((\text{Identifier} \rightarrow \text{Co-Rotina-cont}) \times \text{Identifier})_-$

### Operações

$\text{quit} : \text{Co-Rotina-cont}$

$\text{err} : \text{Co-Rotina-cont}$

$\text{ambvazio} : \text{Identifier} \rightarrow \text{Co-Rotina-amb}$

$\text{ambvazio} = \lambda i. ((\lambda i'. \text{err}), i)$

$\text{inicia} : \text{Identifier} \rightarrow \text{Co-Rotina-cont} \rightarrow \text{Co-Rotina-amb} \rightarrow \text{Co-Rotina-amb}$

$\text{inicia} = \lambda i. \lambda c. \lambda e. \text{let}(\text{map}, \text{caller}) = e \text{ in}$

$\text{let } \text{map}' = [\text{caller} \rightarrow c] \text{ map}$

$\text{in. } (\text{map}' i) (\text{map}', i)$

### Funções de Cálculo:

$B: \text{Bloco} \rightarrow \text{Cmdcont}$

$B[[D; \text{inicia } I]] = \text{resume}[[I]] \text{ quit } (D[[D]](\text{ambvazio}[[I]]))$

$D: \text{Declaração} \rightarrow \text{Co-Rotina-amb} \rightarrow \text{Co-Rotina-amb}$

$D[[D_1; D_2]] = D[[D_2]] \circ D[[D_1]]$

$D[[\text{Co-rotinas } I=C]] = \text{inicia } [[I]] (C[[C]] \text{ quit})$

$C: \text{Comando} \rightarrow \text{Co-Rotina-cont} \rightarrow \text{Co-Rotina-amb} \rightarrow \text{Cmdcont}$

$C[[C_1; C_2]] = C[[C_1]] \circ C[[C_2]]$

$C[[\text{resume } I]] = \text{resume } [[I]]$

$C[[I ::= E]] = \lambda c. \lambda e. \lambda s. c \text{ e } (\text{atualiza } [[I]] (E[[E]]s) s)$

### 8.5.4 Mecanismos de Co-rotinas e Esquemas de Piaget

A Linguagem de Programação natural ao cérebro humano parece ser uma onde diversos esquemas disparam simultaneamente, acionados por fatos externos (observáveis ou imagináveis) ou internos. É como se, dentro do cérebro humano, existisse um "Ambiente de rotinas" onde cada esquema corresponderia a uma rotina que competissem diante de qualquer desequilíbrio interno..

A Semântica Denotacional parece ser uma ferramenta adequada para desenvolver protótipos de tal (ou tais) linguagens que permitissem simular a tão procurada 'linguagem da mente'. Cada 'módulo de Fodor' ou cada 'grupo de neurônios de Edelman' poderia ser representado dentro de uma arquitetura aberta de software e simulações testariam as hipóteses de ambos. O fato mais importante, no entanto, é a possibilidade do desenvolvimento de uma linguagem diretamente desenvolvida para a manipulação de símbolos.

### 8.5 O mundo como um conjunto de objetos relacionados entre si

A teoria do conhecimento desenvolvida por Lenin (1917) defende uma compreensão do mundo como um conjunto de objetos relacionados entre si. Uma definição apropriada para a Análise Orientada a Objetos, é a proposta por Coad e Yourdon (1992): "*Uma abstração de alguma coisa em um domínio de problemas, exprimindo as capacidades de um sistema de manter informações sobre ela, interagir com ela, ou ambos; um encapsulamento de valores de atributos e de seus serviços exclusivos*". Booch (1991) de forma complementar propõe que "*Um objeto possui estado, comportamento e identidade e que comportamentos de objetos semelhantes podem ser definidos pela classe comum que eles constituem; os termos instância e objeto podem ser usados indistintamente*".

#### ☛ Objetos

Os objetos são uma parte da realidade objetiva. Tal realidade é indivisível, só existe como elementos isolados na mente do homem. O homem raciocina a realidade como objetos isolados de acordo com seus objetivos e conveniência.

#### ☛ Relações

As relações refletem a influência e correspondência que existem entre os objetos. As relações podem ser internas se se estabelecem entre os componentes de um objeto ou externas se se estabelecem entre objetos. Estes conceitos de relações internas e externas são, evidentemente, relativos. Os componentes de um objeto são objetos também, produtos do critério utilizado para classificar uma parte da realidade objetiva como objeto ou não. Portanto as relações internas são, ao mesmo tempo, externas aos componentes.

Da mesma maneira vários objetos podem ser agrupados juntos por determinadas características como quando se aplicam os conceitos de conjunto e sistema. Em tais casos o que eram relações externas passam a ser internas ao conjunto ou sistema, os quais passam a ser vistos também como objetos.

De qualquer maneira o que interessa é que podemos modelar o mundo que nos rodeia representado-o mediante a codificação das características fundamentais dos objetos neles contidos e suas respectivas relações.

Os objetos e suas relações são concretizados em nossas mentes através de conceitos. Tais conceitos definem classes de objetos que satisfazem as características e relações expressas no conceito. Para Coad e Yourdon (1992), *uma classe é definida como uma descrição de um ou mais objetos por meio de um conjunto uniforme de atributos e serviços, incluindo uma descrição de como criar novos objetos na classe* e Booch a define como: *"Uma classe é um conjunto de objetos que compartilham uma estrutura e um comportamento comum"*.

#### ☛ Herança

Conceitos podem ser hierarquizados de acordo com seu grau de generalização. Por esta razão existem conceitos que podem ser vistos como pertencentes a uma subclasse de outros. Nesta hierarquia de classes e subclasses existem subclasses que "herdam" as características da classe ou classes às quais pertencem. Para Ceballos (1991) a herança seria definida como o mecanismo para compartilhar automaticamente métodos e dados entre classes, subclasses e objetos. Para Booch é *"Uma hierarquia correlacionada à ordem das abstrações"*.

#### ☛ Características dos objetos

As características dos objetos que devem estar expressamente incluídas no conceito são aquelas que permitam: (i) identificar; (ii) operar e (iii) fazer juízos sobre o objeto, ou seja, devem ser identificados: a estrutura do objeto, as funções desempenhadas por cada um dos seus elementos componentes e os atributos associados.

#### ☛ Relações entre os objetos

As *relações de correspondência* podem estar referidas fundamentalmente a situação espacial relativa entre os objetos e as proporções entre suas características. Tais relações podem ser expressas através de condições.

As *relações de influência* são aquelas que determinam a forma pela qual um objeto cria ou modifica o outro, isto é, que tais e tais ações são realizadas por um objeto sobre o outro. Segundo Garcia (1992), em tais ações, o objeto que realiza a ação é denominado de sujeito. O objetivo ou objeto da ação será o efeito desta no objeto que recebe a ação e é definida por um conjunto de operações ou passos para sua realização. As operações têm a mesma forma que as ações sendo, porém, elementares, indecomponíveis.

#### ☛ Conhecimentos representados como objetos

O objetivo do processo de construção de conhecimentos é conduzir de um estado a outro qualitativamente superior. Portanto, não é mais do que a modificação de um objeto, neste caso o agente cognitivo, especificamente seus conhecimentos. Para isto se realizam ações sobre o mesmo, observando-se suas manifestações e se decidindo sobre as próximas ações a realizar.

O sujeito da ação é a arquitetura de software implementada no computador, o objeto da ação é o agente cognitivo e as condições e operações que realizam o conjunto de programas devem ser tais que seja possível, aos programas, decidir o que fazer e como, para levar o agente cognitivo ao estado desejado.

#### ☛ Conhecimentos lógicos

Os conhecimentos lógicos se referem as habilidades para deduzir, generalizar, etc. Através da lógica pode-se criar ou modificar os próprios conhecimentos e efetuar manipulações da representação dos objetos e relações. O sujeito desta ação é o homem e o objeto da ação seus próprios conhecimentos.

#### ☛ Projeto de um computador virtual

Um computador virtual apropriado tem que permitir não só representar objetos e relações como também prover facilidades para que se efetuem manipulações tais que seja possível modelar todos os tipos de conhecimento.

Sua função seria a de identificar objetos a partir de suas características e relações, executando as ações devidas.

#### ☛ Possibilidades na representação de objetos e relações

A vantagem oferecida por esta representação é que a mesma estrutura o conhecimento em uma forma similar a empregada pelas pessoas. As relações de causa-efeito ficam reconhecidas através das relações entre os objetos. As relações externas expressam a influência que tem um objeto sobre outro, o que pode ser usado de forma vantajosa em simulações.

## CAPÍTULO NONO

### OS PRECURSORES

#### 9.1 O Darwinismo Neuronal de Edelman

Gerald Edelman (1990) considera fundamental que qualquer sistema que tente modelar a inteligência deva se suportar na verosimilhança com o sistema neurofisiológico. O apelo de Edelman aos modelos biológicos e evolutivos extrapola o construtivismo piagetiano não somente adotando a evolução como uma metáfora para a aprendizagem, mas tomando a neurobiologia como uma base para um sistema de aprendizagem.

De certa forma Edelman retoma a tese de Searle (1980) de que qualquer coisa que tente imitar o cérebro humano deva reproduzir a arquitetura cerebral.

#### A teoria da seleção neuronal de grupos (TNGS)

A teoria proposta por Edelman (op. cit.), TNGS, propõe que a unidade fundamental pela qual se organiza o sistema nervoso é o grupo neuronal, uma coleção de centenas a milhares de neurônios fortemente interconectados que atuam em colaboração.

Três mecanismos básicos governariam a formação, adaptação e interação de grupos neuronais: *seleção pelo desenvolvimento*, *seleção pela experimentação* e *mapeamento reentrante*.

Durante a embriogênese, a ordem anatômica macroscópica do sistema nervoso que é característica para cada espécie animal, é gerada. Dentro desta ordem geral, os padrões precisos de arborizações de neurônios mostram enormes variações, tanto dentro como entre indivíduos. Esta diversidade estrutural deve ser o resultado de processos regulatórios epigenéticos que atuam durante o desenvolvimento.

A geração da diversidade em estruturas neuronais em crescimento é uma saída necessária desse processo de controle regulador-da-forma o qual conduz a formação de repertórios primários que compreendem circuitos de grupos neuronais variantes, localizados em uma dada região anatômica.

Após o nascimento, depois que a maioria das conexões neuronais já estão estabelecidas, a estrutura anatômica tende a ser mais ou menos fixa, enquanto os mecanismos sinápticos se tornam os agentes principais da plasticidade e da adaptação.

A especificidade funcional de grupos neuronais dos repertórios primários está sujeita a mecanismos adicionais de seleção pela experiência que formam os repertórios secundários dentro dos quais ocorre a competição pelo acesso aos caminhos de entrada e saída de sinais.

A população resultante de grupos variantes em uma região do cérebro são chamadas de repertórios como referência ao seu potencial coletivo de responder a qualquer de uma grande classe de entradas.

A seleção experimental entre as populações sinápticas fornece, efetivamente, uma base para a definição da significância dos sinais neuronais em termos de categorias perceptuais e comportamento; como na evolução, o critério último de sucesso é a capacidade de se ajustar apresentada pelo organismo.

De fato, a seleção natural com fins de ajustamento deve, ela mesmo, depender em parte sobre o sucesso variado desses processos envolvendo seleções de grupos neuronais somáticos.

A fim de que a seleção somática possa operar no sistema nervoso, cada grupo neuronal deve ser exposto (ou diretamente ou através de unidades intermediárias) a uma amostra suficiente de sistemas sensoriais aferentes para permitir que ele responda de forma diferenciada aos vários objetos e eventos ocorrendo no ambiente. Cada grupo neuronal deve ser capaz de contribuir, através dos sinais de saída que emite, para alguns dos aspectos do comportamento do organismo. Finalmente, grupos neuronais devem ter a capacidade de mudar suas respostas de acordo com o relativo sucesso do comportamento para o qual ofereceram sua contribuição.

De acordo com a TNGS tais grupos são formados dinamicamente e correspondem, mas não obrigatoriamente, a regiões onde haja uma pesada conectividade anatômica. As interações de neurônios tanto dentro de cada grupo como entre diferentes grupos mudam continuamente como um resultado da seleção devida à respostas a mudanças nos padrões de entrada.

Portanto, o conjunto de neurônios que constituem um grupo particular pode variar no tempo mas, a qualquer tempo, grupos vizinhos não se superpõem.

A organização em grupos tem várias vantagens para o sistema nervoso:

- fornece alvos espacialmente estendidos para o crescimento de neurite durante a formação dos mapeamentos;
- provê uma maneira pela qual unidades de anatomia fixa possam sofrer um processo de reorganização funcional como é requerido pelas mudanças necessárias ao crescimento de um organismo;
- permite que mapeamentos essenciais sejam mantidos durante essas reorganizações;
- se constitui num mecanismo para a coordenação de mudanças sinápticas independentes por trazer junto coleções de neurônios de funções relacionadas;
- favorece a estabilidade de longo termo das conexões que recebem padrões comuns de sinais de entrada correlacionados, reduzindo o perigo de que saídas úteis sejam molestadas por mudanças sinápticas não coordenadas induzidas por algum sinal de entrada de força não usual.

A importância geral de grupos do sistema nervoso é atestado pela ocorrência espalhada de estruturas tipo grupo tais como colunas de dominância ocular, 'blobs, barrels, slabs, fractured somatopies', etc. De qualquer forma a densa interconexão observada no sistema nervoso torna pouco possível que células possam funcionar como indivíduos.

Evidências obtidas em experimentos recentes, revelaram a ocorrência de oscilações síncronas em 40 Hz, na população local de neurônios de orientação seletiva no córtex visual primário durante a apresentação de uma barra de luz para uma orientação ótima ou próxima da ótima.

Essas oscilações, presumivelmente, envolvendo muitas ou todas as células em uma coluna de orientação, ocorrem em animais despertos ou levemente anestesiados e parecem ser geradas por um mecanismo intracortical.

Oscilações em colunas distantes dentro da área 17 ou nas áreas 17 e 18, que possuem seletividade orientacional similares, estão altamente correlacionadas em frequência e em fase, se a essas colunas forem apresentadas estímulos parecidos, espacialmente e temporalmente.

Esses experimentos confirmam algumas das previsões teóricas da TNGS. Os resultados fornecem evidência clara quanto a existência de grupos neuronais no córtex visual primário.

Conexões entre células pertencentes ao mesmo grupo neuronal ou a grupos neuronais diferentes são fortalecidas ou enfraquecidas de acordo com regras sinápticas atuando localmente.

Todas as regras se derivam das regras simples de Hebb, incorporando-se efeitos temporais e hetero sinápticos. Modificações hetero sinápticas em um dado lugar dependem em duração ou extensão sobre eventos ocorrendo em sinapses próximas sobre a mesma célula, mediadas através de mensageiros secundários.

A fim de um sistema demonstrar comportamento adaptativo, a modificação de sinapses de certas classes deve ser polarizada por entradas hetero sinápticas de repertórios neuronais especializados que reflitam um cálculo global do comportamento recente.

Os repertórios têm conectividades que predispõe a determinadas respostas, dadas seqüências de comportamentos adaptativos, mas seus grupos constituintes são normais em todos os outros aspectos.

Tais repertórios são chamados "repertórios de valor" e instanciam aquilo que se denomina "esquemas de valor".

Esquemas de valor são as adaptações evolutivas básicas que definem largos objetivos comportamentais para um organismo.

Repertórios de valor influenciam outras áreas de uma forma modular e difusa. Portanto, eles não pré definem a forma exata que uma resposta comportamental tomará ou determina categorias perceptuais particulares; em vez disso impõem polarizações sobre as modificações sinápticas, dependendo das saídas de interações prévias com o ambiente.

A emergência de repertórios de valor, assim como o 'layout' geral e não detalhado de todos os grupos e repertórios em um sistema nervoso, podem ser assumidos como estando sobre controle evolucionário, o que assegura que as estruturas neuronais existentes, em qualquer organismo em particular, são apropriadas para gerar, de forma geral, a diversidade comportamental necessária para a sua sobrevivência.

Um sistema seletivo não precisa de informação 'a priori' acerca de estímulos particulares que o organismo possa encontrar além das fornecidas pelas condições limites estabelecidas evolutivamente, implícitas na construção de seus elementos de reconhecimento, (de acordo com regras anatômicas).

A fim de assegurar alguma resposta para qualquer estímulo o sistema deve conter unidades com respostas específicas à variação inteira dos estímulos possíveis. O número de unidades requerida aumenta com o número de estímulos potenciais, assim como com o grau de especificidade requerida em cada ato de reconhecimento. Dada a natureza indefinida dos limites no mundo entre categorias possíveis, a única estratégia razoável é construir unidades com especificidades funcionais arbitrárias mas que se superponham. A superposição nos dá a certeza da cobertura da variedade de estímulos e permite ao sistema continuar a operar quando alguma de suas unidades falha. Chama-se a esta importante propriedade de 'degeneração', para sugerir a presença de unidades múltiplas e não isomorfas mais funcionalmente inter-substituíveis, e para distingui-las da simples redundância que denota a duplicação de unidades estruturais isomórficas para melhorar a tolerância à falha.

Além de serem capazes de reconhecer estímulos e categorias relevantes do ambiente, o sistema nervoso deve ser capaz de associar estímulos de acordo com suas correlações espaciais e temporais, como ocorre com animais de ordem mais elevada. A Associação requer comparação e, portanto, memória.

A fim de que aconteçam comparações e associações, eventos de reconhecimento em diferentes instantes de tempo e lugares devem ser correlacionados uns com os outros. TNGS propõe que esta conjunção ocorre por reentrada, a troca de sinais, freqüentemente recursivos, entre os diferentes repertórios ao longo de conexões anatômicas paralelas.

A **Reentrada** pode assumir muitas formas, inclusive conexões para trás (de um repertório para repertórios usados anteriormente no mesmo caminho), assim como horizontalmente entre repertórios de diferentes caminhos. A Reentrada é um processo, tipicamente, recíproco, envolvendo a troca de sinais, em ambas as direções, entre dois repertórios. Freqüentemente esses dois repertórios são mapeados localmente em diferentes caminhos sensoriais e a reentrada fornece um mecanismo pelo qual se pode correlacionar diferentes aspectos de um mesmo objeto ou eventos pertencentes ao ambiente.

A Reentrada dá significado às realizações dominantes do néo córtex dos mamíferos, estendendo-se bem além das funções de feedback freqüentemente atribuídas a ele. Como Ashby apontou, "tais sistemas complexos não podem ser tratados como um conjunto entrelaçado de circuitos de feedback mais ou menos independentes, mas somente como um todo".

Finalmente, devemos distinguir as propriedades de reentrada daquelas tipicamente associadas com a noção de feedback.

Reentrada é, inerentemente, paralela e envolve populações de unidades interconectadas, enquanto que feedback envolve a recursão de uma simples variável escalar. Reentrada é distribuída, isto é, cada área reentra simultaneamente em muitas outras áreas (observe que a reentrada pode ocorrer entre áreas do mesmo nível heterárquico assim como entre níveis mais altos e mais baixos do sistema). Reentrada tem uma natureza estatística, ainda mais que nem todas as conexões são usadas o tempo todo. Finalmente, a hipótese da reentrada fornece o mecanismo pelo qual novas operações podem ser originadas e é usada mais para correlações do que para correção de erro ou controle de ganho.

A reentrada provê uma base estrutural e funcional para a memória associativa, pela qual as respostas de grupos reentrantemente ativados freqüentemente refletem a existência de correlações de estímulos que são de significado potencial. A modificação de sinapses envolvidas nessa resposta, polarizadas de acordo com a força das respostas reentrantes, provê o substrato físico para a associação.

Funcionalmente, a memória aparece como a facilitação de respostas categóricas que foram previamente selecionada diante de estímulos similares no passado. Estas respostas são modificadas, claro, de acordo com o contexto corrente. Neste ponto de vista, a memória é um processo de re-categorização em vez de ser um meio de armazenagem de duplicações de dados discretos.

Freqüentemente essas associações são formadas entre mapas neuronais e refletem diferentes aspectos do complexo de estímulos.

O Darwinismo Neuronal estende o construtivismo piagetiano para bem além do instante em que espermatozóide e óvulo se unem para iniciar a viagem fantástica através da vida.

## 9.2 O Mecanismo de Esquemas de Gary L. Drescher

O Mecanismo de Esquemas, construído por Drescher (1991) para defesa de Tese no MIT, tinha dois objetivos, a saber:

- ☞ Adquirir conhecimentos por meio da construção ou revisão de fatos simbólicos acerca do mundo.
  - Realizando descobertas expressáveis em termos de elementos representacionais existentes.
  - Construindo novos elementos com os quais se pudesse expressar descobertas adicionais.
  
- ☞ Usar essas construções simbólicas para perseguir determinados objetivos e adquirir conhecimentos adicionais.

Acima de tudo, o projeto do Mecanismo reflete a necessidade de aprender, construir suas próprias estruturas para seu próprio uso, representar o mundo de um modo ao mesmo tempo prático e informativo. Um diagrama para os maiores componentes do Mecanismo de Esquemas é apresentado na figura abaixo.

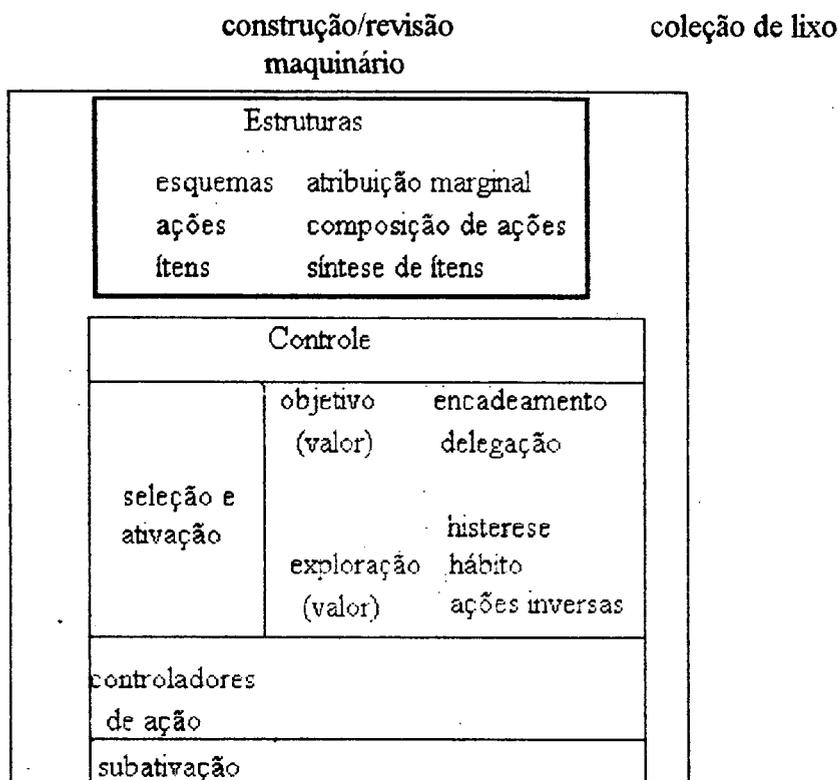


Figura 9.1 - O Mecanismo de Esquemas

O processo de construção de novos esquemas, ações e ítems corresponde, respectivamente a aprendizagem empírica, abstração e descoberta de conceitos.

Esquemas expressam descobertas acerca da relação entre ações e ítems existentes; ações compostas designam a descoberta de objetivos particulares, abstraído-se da forma como esses objetivos são alcançados, permitindo que o objetivo, ele mesmo, seja visto como causa de resultados posteriores. Ítems Simbólicos representam aspectos do estado do mundo para o qual alguns estados previamente representados não passam de mera manifestação.

O programa de computador que implementa o Mecanismo opera em um 'micro-mundo' bi-dimensional e discreto. O programa controla um robô simulado que possui um corpo, uma mão e um sistema visual. Os objetos (incluindo o corpo do robô e a mão) são todos do mesmo tamanho. Eles não podem girar mas podem se mover ou de forma espontânea ou como resultado de alguma ação do robô (o movimento se dá em unidades discretas do mesmo tamanho dos objetos)

### 9.2.1 Estrutura

#### ☛ Esquemas

Um esquema é composto por um contexto, uma ação e um resultado. Contextos e resultados são compostos por ítems, cada um dos quais designa um estado ou condição particular. A notação é contexto/ação/resultado. Um item negado é representado por  $\sim$  e a conjunção por  $\&$  (ou, se os ítems são representados por letras, pela concatenação simples dessas letras.

Um esquema garante que se a ação que o compõe for tomada dentro das condições assinaladas pelo contexto o resultado definido será obtido. Diz-se que um esquema é aplicável quando suas condições de contexto são atendidas. Da mesma forma, ativar um esquema significa executar sua ação. Se o resultado esperado é obtido diz-se que se obteve sucesso, caso contrário ocorreu falha.

Esquemas competem por ativação em duas bases: um esquema pode ser ativado meramente para ser exercitado, dando ao mecanismo a possibilidade de verificar sua validade e extensão e revisá-lo ou para atingir algum objetivo. Existem dois tipos de ativação: explícita e implícita. A ativação explícita consiste em se selecionar e iniciar sua ação. Como um efeito colateral da ativação explícita outros esquemas, cujos contextos passam a ser atendidos podem ter suas ações iniciadas (ativação implícita). O custo de ativação de um esquema é definido como o mínimo de qualquer resultado com valor negativo dos esquemas que são implicitamente ativados como decorrência de sua ativação. Um esquema mantém vários dados auxiliares. Esses dados incluem:

<b>Correlação</b>	Razão entre a frequência de transição de resultado com e sem ativação.
<b>Confiabilidade</b>	Razão das ativações com sucesso.

**Duração**  
**Custo**

Tempo médio de ativação até completar a ação  
Custo médio (isto é, efeitos colaterais de valor negativo) da ativação.

Esclarecendo; a correlação de um esquema é a relação entre a probabilidade com a qual uma transição para o estado que corresponde ao resultado é obtida quando o esquema é ativado e a frequência com a qual essa transição é obtida quando o esquema é aplicável mas não é ativado (posso chegar aquele estado por outros meios).

Em adição às três partes principais, um esquema tem, acoplado, duas estruturas auxiliares, um contexto estendido e um resultado estendido. Cada uma dessas estruturas possui um espaço (slot) para cada item do Mecanismo e não apenas para os itens correspondentes àquele esquema específico. Cada espaço destes mantém dados acerca da correlação entre o esquema e aquele item determinado. Pode acontecer que o fato de um determinado item ser ON ou OFF implique na inaplicabilidade daquele esquema (o item 'overrides' o esquema). Somente os dados auxiliares de um esquema estão sujeitos à revisão. Contexto/ação/resultado identificam de forma única um esquema e não são alteráveis.

O objetivo do mecanismo é o de construir esquemas de alta confiabilidade.

#### ⊙ Atribuição marginal

Inicialmente, para cada ação (primitiva ou composta), o Mecanismo monta um 'esqueleto de esquema', vazio/ação/vazio. No 'resultado estendido' de um esquema registram-se os efeitos obtidos pela execução da ação de duas maneiras (cada uma correspondendo a um 'slot' do 'resultado estendido').

Primeiro, uma estatística que mede a relação entre a probabilidade do item associado aquele 'slot' do 'resultado estendido' se tornar ON quando se toma a ação definida pelo esquema e o mesmo 'slot' se tornar ON quando a ação não é tomada (Correlação de Transição Positiva). Segundo, idêntico a primeira, mas com relação ao estado OFF (Correlação de Transição Negativa).

A fim de que um esquema se encadeie em outro, os itens do resultado devem conter todos os itens do contexto do outro esquema.

#### ☞ Itens

Um item é um elemento de estado. Cada item representa alguma aspecto particular do mundo (sim, não, desconhecido). Da mesma forma que os esquemas, associamos dados auxiliares aos itens:

**Generalidade**  
**Acessibilidade**

Taxa de ON vs OFF  
Taxa de estar ao fim de alguma cadeia de esquemas

<i>Valor Primitivo</i>	Medida desejada, positiva ou negativa, inicial
<i>Valor Delegado</i>	Medida desejada, positiva ou negativa, adquirida

Existem dois tipos de ítems, primitivos e sintéticos. Ítems Primitivos são impostos ao Mecanismo; são parte da definição inicial. Cada item primitivo corresponde a alguma entrada sensorial. Exemplos de ítems primitivos são:

*.hp11, ..., hp33*. Ítems relativos à posição das mãos. Posição(1,1) corresponde ao canto inferior esquerdo do vídeo (micro-mundo)

*.vp11, ..., vp33*. Idem para o olhar.

*.tactf, tactb, tactr, tactl*; ítems tácteis grosseiros, um para cada lado da mão (frente, costas, direita, esquerda).

*.text0, ..., text3*. Ítems tácteis detalhados associados à textura quando se toca um objeto com os 'dedos'.

*.bodyf, bodyb, bodyr, bodyl* (ítems tácteis grosseiros), *taste0, ..., taste3* (Detalhes arbitrários de objetos que tocam a boca), *vf00, ..., vf44* (ítems associados a cada uma das 25 regiões, grosseiras, do campo visual), *fov00-33, fovb00-33, fovl00-33, fovx00-33* (detalhes visuais correspondentes a cada uma das cinco regiões foveais).

*.hcl* (mão fechada), *hgr* (mão fechada e agarrando alguma coisa).

Ítems sintéticos são construídos pelo Mecanismo. Cada um desses ítems designa a condição de validação de um esquema particular (chamado esquema hospedeiro). Seja, por exemplo, o esquema p/a/x (se as condições 'p' forem atendidas e a ação 'a' for tomada; o resultado 'x' será obtido). O item sintético [p/a/x] designa quaisquer que sejam as condições (possivelmente ainda desconhecidas e mesmo não representadas) que sejam necessárias se quisermos que o resultado 'x' se siga 'com confiabilidade' sempre que a ação 'a' for tomada nas condições definidas por 'p'.

O Mecanismo inventa conceitos construindo esses ítems sintéticos. Da mesma forma que os ítems primitivos, cada item sintético designa um aspecto particular do mundo. Portanto não existe nenhum item sintético cujo significado seja um objeto físico. Existem vários ítems significando que o objeto A está na posição X. A coordenação sistemática de muitos ítems desse tipo conduzem ao conceito relativo a um objeto físico.

As facilidades providas pelo Mecanismo para construção e manutenção desses ítems sintéticos foram projetadas para promover o fenômeno de conservação observado por Piaget.

Algumas vezes, como é o caso de conservação de um objeto ou de massa; o que é requerido é o conceito de alguma realidade física. Em contraste, conservação de número envolve uma abstração que não tem nada a ver com a Física.

O Mecanismo reconhece quatro tipos de condições de verificação do estado de um item sintético, a saber:

*-Tentativa do esquema hospedeiro.* Cada vez que o esquema hospedeiro completa sua ativação com sucesso, registro um ON no lugar apropriado e um OFF caso contrário.

*-Consistência Local.* Quando qualquer das condições tornam um item sintético ON, ele permanece neste estado por um período de tempo igual ao determinado empiricamente pela duração do esquema hospedeiro (em verdade existem dois tempos, um associado ao estado ON e outro associado ao estado OFF). Após esses períodos de tempo, se nada acontecer, o item sintético assume o estado 'desconhecido'. Portanto a evidência de consistência local é a memória da evidência mas recente para o estado de um item (desde que haja tal evidência recente).

*-Condições de contexto aumentadas.* O contexto estendido de um esquema hospedeiro pode descobrir condições que façam o esquema mais confiável, conduzindo à construção de esquemas 'spinoff' (por um processo de atribuições marginais). Por exemplo, o esquema associado a um objeto palpável pode ser copiado com a adição de um elemento ao contexto para significar um objeto visível na mesma posição. Um esquema confiável retira sua aplicabilidade do seu 'esquema pai' (o esquema do qual se originou).

*-Predições.* Um item sintético, como um item primitivo, pode ser incluído nos resultados e contextos de muitos esquemas. Se um item sintético aparece no resultado de um esquema confiável, e tal esquema é ativado, então, na ausência de qualquer evidência em contrário, o Mecanismo assume que o esquema teve sucesso e torna o item sintético ON (se foi incluído positivamente no resultado ou OFF caso contrário).

A análise do significado de um item sintético é auxiliada pela distinção tradicional entre a extensão e a intensão de um conceito: A extensão de um conceito é definida pelo conjunto de circunstâncias possíveis sob as quais o conceito é verdadeiro. A intensão de um conceito é uma designação particular ou representação do mesmo. No Mecanismo, a intensão de um conceito, representada por um item sintético, é dada pelo esquema hospedeiro.

#### ☛ Ações

Existem dois tipos de ações; primitivas e compostas. *Ações primitivas*, como itens primitivos, são parte da inicialização do Mecanismo. Da mesma forma que cada item primitivo é ligado a uma entrada sensorial, cada ação primitiva é ligada a alguma ação motora. Exemplos de ações primitivas são:

*.handf, handb, handr, handl*: Essas ações movem a mão incrementalmente para a frente, para o lado, para a direita e para a esquerda.

*.eyef, eyeb, eyer, eyel*. Idem para o olho.

*.grasp* (agarre), *ungrasp* (solte).

Mesmo para os esquemas relativos aos estágios do período sensório motor as ações primitivas se mostram insuficientes por duas razões. Primeiro o Mecanismo precisa expressar ações em um nível mais alto de abstração e, em segundo lugar; ele precisa descobrir os resultados de eventos externos assim como os decorrentes de suas próprias ações. *Ações compostas* facilitam a abstração e externalização de ações.

Considere, por exemplo, a ação de 'ligar a luz'. Se em adição as ações simples (motoras) pudermos definir 'ligar a luz' como uma ação de per si, teremos as seguintes vantagens:

-O Mecanismo pode aprender acerca dos resultados de 'ligar a luz' em vez de uma série de resultados correspondentes às ações motoras empregadas em determinada ocasião para essa finalidade.

-O Mecanismo é capaz de organizar atividades hierarquicamente. Uma cadeia de esquemas pode incorporar a ação de 'ligar a luz'.

-O Mecanismo pode aprender acerca dos efeitos de se 'ligar a luz' mesmo quando essa ação ocorre como um evento externo, fora do controle do mecanismo, o que facilita a progressão piagetiana de esquemas de atividades físicas (centradas) para esquemas que são independentes de uma ação pessoal.

Uma ação composta é definida com respeito a alguma meta a ser atingida (goal state); isto é, como a ação que provoca a transição para determinado estado. Como o contexto ou resultado associados a um esquema, o estado objetivo de uma ação composta é um conjunto de itens (incluídos positiva ou negativamente). Uma ação composta é, em essência, uma subrotina que é definida como sendo a ação necessária a que se chegue, por quaisquer que sejam os meios disponíveis, a um estado desejado. Esses meios são dados por cadeias de esquemas que conduzem ao objetivo desejado, tomando-se diferentes pontos de partida. Tais esquemas são ditos 'componentes' da ação composta.

Cada ação composta possui, ainda, um 'controlador' associado. Da mesma forma que para os esquemas (no que tange a itens) o controlador possui um espaço (slot) para os outros esquemas. Cada espaço contém dados que dizem se o esquema pertence ou não a determinada cadeia que conduz ao objetivo e, se positivo, qual a proximidade do objetivo que será alcançada se o esquema for ativado.

Ao iniciar uma ação composta (pela ativação de um esquema que contenha aquela ação) o controlador busca por um esquema componente que o leve o mais próximo possível do objetivo desejado. Este esquema é então ativado.

Esse procedimento é repetido até que o objetivo seja alcançado. Considera-se que a ação composta falhou se ela tiver excedido uma determinada duração ou se se chega a um intervalo onde nenhum esquema componente é aplicável.

### 9.2.2 Controle

Esquemas competem por ativação. Em seu nível mais alto o Mecanismo seleciona um esquema para ativação. A cada unidade de tempo (a implementação é discreta em relação ao tempo. Uma implementação contínua deve dispor de um ativador que funcione a cada ciclo) ocorre uma seleção.(um esquema de cada vez na forma como o sistema foi implementado). Apesar disso a ativação de um esquema que contenha uma ação composta implica na ativação dos componentes. Em outras palavras, o sistema suporta ativações aninhadas mas não suporta ativações paralelas.

O processo de seleção em mais alto nível escolhe entre os esquemas aplicáveis de acordo com um critério de importância. Essa importância é baseada em dois critérios; perseguição específica de um objetivo e exploração (que pode ser vista como a perseguição de um objetivo de alto nível 'adquirir conhecimento'). O critério de exploração amplia a importância de um esquema de acordo com o que se pode aprender pela sua ativação. O critério relativo a perseguição de metas contribui para a importância de um esquema na medida em que a ativação desse esquema faz parte de algum encadeamento que atinja a meta explícita.

Cada meta explícita é um estado representado por algum item, ou conjunção de itens. O Mecanismo determina explicitamente que um item contribui para um objetivo de alto nível atribuindo um valor positivo a esse item; se o item deve ser evitado se se quer atingir o objetivo, atribui-se um valor negativo ao mesmo.

Para balancear entre perseguição de um objetivo (10% do tempo) por um lado e exploração (90% do tempo) por outro, o Mecanismo, a cada período de tempo, enfatiza um tipo ou outro. Em vez de escolher o esquema pelo mais alto valor, o Mecanismo seleciona aleatoriamente entre aqueles esquemas cujo valor esteja próximo do máximo. Este processo impede que se excluam esquemas 'quase tão bons'.

Uma nova seleção ocorre a cada unidade de tempo. Mesmo que uma cadeia de esquemas esteja em progresso o restante da cadeia ainda não executada vai ter que competir pela ativação.

Portanto, da mesma forma que na execução de uma ação composta, o controle pode transferir o processamento para um caminho, não esperado, porém melhor, que conduza ao mesmo objetivo. Seleção de alto nível vai ainda mais longe, o controle pode se transferir para uma cadeia que conduza a um outro objetivo, mais premente.

O Mecanismo também permite que uma ação composta em execução seja interrompida.

Um esquema com uma ação composta, claro, pode levar um tempo arbitrariamente longo para ser completado, dependendo do tamanho da cadeia de esquemas usados para alcançar o estado objetivo pretendido pela ação. Se um esquema diferente do que está em execução for selecionado, este será abortado.

O Mecanismo atribui um alto valor aos esquemas pendentes (que não foram completados no ciclo anterior) de forma que os mesmos só não serão executados se surgir algo muito mais importante.

#### ☛ Perseguição de Objetivos Explícitos

Existem três tipos de valores explícitos: primitivos, instrumentais e delegados; cada um deles podendo assumir valores positivos e negativos.

*Valores primitivos* são associados a certos ítems primitivos. Em sistemas biológicos, por exemplo, valores positivos representam eventos que beneficiam o organismo ou espécie (gosto da comida, estimulação sexual, etc.) e eventos negativos algo que deva ser evitado (fome, dor, etc.)

Um *valor instrumental* é atribuído a um estado se este é um pré requisito para se alcançar alguma outra coisa a que se atribuiu valor. Quando o Mecanismo ativa um esquema como um elemento de uma cadeia que conduza a algum estado ao qual se atribuiu valor positivo, diz-se que o resultado deste esquema (ou melhor, a parte dele que inclui o, contexto relativo ao próximo passo da cadeia) tem valor instrumental. Valores Instrumentais são transientes que mudam com a mudança do mundo.

*Valores delegados* combinam aspectos dos valores primitivos e dos valores instrumentais. Como os valores instrumentais, o valor delegado é derivado de outras coisas de valor que o determinado item ajuda a alcançar. Como os valores instrumentais, os valores delegados são transientes.

A cada unidade de tempo, o Mecanismo computa o valor explicitamente acessível do estado atual; isto é, o máximo valor de quaisquer ítems que tenham sido alcançados por uma cadeia confiável de esquemas começando com um esquema aplicável.

Para cada item, o Mecanismo acompanha o valor médio quando o item está ON comparado com o valor quando está OFF. Se o valor quando ON excede o valor quando OFF, o item recebe um valor delegado positivo. Esse valor será negativo caso contrário. O valor é proporcional a discrepância entre os valores ON e OFF e à duração esperada para que o item esteja ON. Para fins de comparação entre valores delegados assume-se que ítems acessíveis de valor zero tenham um pequeno valor positivo.

*Valores delegados são estratégicos* (considera os estados que tendem a facilitar outras coisas de valor) e *valores instrumentais são táticos* (estados que, no momento, facilitam outras coisas de valor). Para uma criança, por exemplo, a presença de um dos pais pode receber um valor delegado, mesmo quando não haja a menor necessidade dessa presença para se atingir algum objetivo.

#### ☛ Valores de Exploração

O Mecanismo mantém um balanço cíclico entre valores associados a perseguição de objetivos e valores associados a exploração. Essa ênfase é obtida mudando-se os pesos relativos às contribuições desses termos à importância atribuída a cada esquema. O valor exploratório de um esquema é calculado para promover a aprendizagem.

Dois componentes principais do valor de exploração são denominados de histerese e hábito: um esquema recentemente ativado é favorecido pela ativação (histerese), fornecendo uma espécie de focalização de atenção que permite a repetição de um pequeno número de esquemas; mas um esquema que recentemente foi ativado muitas vezes é parcialmente suprimido (hábito) o que previne um pequeno número de esquemas de ocupar o Mecanismo.

Um esquema registra sua taxa de utilização. Um esquema mais utilizado é sempre favorecido pelo processo de seleção. Esta instabilidade deliberada cria um nicho onde somente uns poucos esquemas acabam por dominar.

Outro componente do valor de exploração é projetado para distribuir ativação entre diferentes ações. Sem tal componente, ações comuns a muitos esquemas seriam inicializadas mais freqüentemente que outras o que, em retorno, implicaria na construção de mais esquemas associados a estas ações. Esta instabilidade é evitado dando-se maior destaque a esquemas que contenham ações ainda não (ou pobremente) representadas.

#### ☛ Ações Inversas

O Mecanismo inclui facilidades que identificam pares de ações inversas e outras que as ativam sucessivamente. Mover a mão para frente e depois para trás, de volta ao lugar.

### 9.2.3 Arquitetura

#### A) Arquitetura de Hardware

O Mecanismo objetiva explicar aspectos relativos à Aprendizagem Humana. O projeto, portanto, deve respeitar as restrições neurofisiológicas impostas. Outra conclusão é a de que deva existir uma implementação neuronal do Mecanismo, uma que não viole o que se conhece a respeito do cérebro humano.

A arquitetura presumida suporta um milhão de unidades computacionais todas ligadas entre si. As conexões transmitem dados tanto numéricos como simbólicos e, da mesma forma que as unidades, podem armazenar dados. Finalmente, conexões e unidades operam em paralelo.

Cada unidade e cada ponto de conexão realiza algum tipo de computação simples a uma taxa de umas poucas por segundo, as quais afetam os valores armazenados e podem viajar pelas linhas de conexão. A computação em cada ponto de conexão é uma função do valor armazenado e dos dados de entrada. A computação em cada unidade é uma função simétrica das linhas de entrada que se conectam à unidade e dos valores armazenados na unidade e em seus pontos de conexão. Essa função deve ser a conjunção ou disjunção de valores binários, a soma, a média ou o máximo dos valores numéricos de cada entrada, ou, daquelas entradas etiquetadas por um símbolo. A unidade, por sua vez, pode apresentar como saída números e símbolos.

Existe também um controlador de comunicações tal que, por exemplo, irradie uma mensagem para todo esquema, ação ou item. O Mecanismo de Drescher foi implementado em um computador CM2 da Thinking Machines e utilizou uma máquina de LISP simbólica, dedicada. A arquitetura da máquina CM2 é a seguinte:

-610.536 processadores operando em paralelo dos quais foram utilizados 16.384 para o Mecanismo. Cada processador tem 262.144 bits de memória.

-O CM2 é uma máquina SIMD (instrução simples e fluxos de dados múltiplos) o que significa que todos os processadores executam a mesma instrução de uma vez, cada uma sobre seus próprios dados.

-Algumas instruções operam localmente a cada processador, sendo afetados ou afetando somente os dados relativos a estes processadores. Outras instruções atuam globalmente, computando, por exemplo, a soma ou o máximo dos valores obtidos para um dado numérico em processadores especificados. Algumas instruções globais atuam em outra direção, enviando valores a todos os processadores.

-Finalmente, existe uma classe de instruções de comunicação, que envia mensagens de um ou mais processadores fontes para um ou mais processadores alvo. Um processador fonte pode designar o seu alvo por um endereço ou por coordenadas em uma grade  $n$  dimensional na qual processadores virtuais podem ser organizados.

Uma mensagem pode ser enviada para uma linha inteira (ou mesmo um hiper plano) dessa grade, de uma única vez. A maior parte do programa foi escrito em LISP (uma extensão paralela do LISP). Alguns códigos foram escritos em PARIS (um conjunto de instruções tipo Assembler para o CM2).

## ☛ Arquitetura de Software

O programa aloca processadores virtuais para cada esquema, ação, item e pontos de conexão na 'barra de cruzamento (crossbar)' de esquemas/ítems; ações/esquemas. Do ponto de vista das instruções de comunicação, os processadores virtuais associados à pontos de conexão estão organizados em uma grade bi-dimensional. Devido a limitações de memória, existem 64 pontos de conexão por processador virtual; o programa interage serialmente atualizando cada um desses 64 pontos de conexão.

A cada unidade de tempo são realizadas as computações básicas para cada esquema, ação, item e ponto de conexão.

A conectividade da 'barra de cruzamento' é simulada utilizando-se as instruções de comunicação do CM2 para transmitir dados de um tipo de estrutura para outro.

Cada um dos 16.384 processadores pode designar cerca de metade de um esquema ou ação composta que são estruturas grandes devido a existência dos contextos e resultados estendidos além dos controladores. Noventa por cento (90%) dos processadores são reservados para esquemas e os restantes para as ações compostas. A memória disponível para os esquemas é o fator limitante no desempenho do Mecanismo implementado.

### 9.3 O "Modelo operatório para construção de conhecimento" de Raul Sidnei Wazlawick<sup>1</sup>

Wazlawick (1993) apresenta a parte da teoria de Jean Piaget que trata da construção do conhecimento, não discutindo a questão da sua natureza. O modelo operatório sugere uma maneira de implementar a teoria de Piaget de forma que a mesma possa ser aproveitada na aprendizagem de máquinas.

A maioria dos métodos, tanto de aprendizagem de máquina como de humanos são, na verdade, métodos de ensino, ou seja, educam de fora para dentro e não de dentro para fora, impõem uma visão de mundo não permitindo a liberdade de se construir as próprias interpretações da realidade. As máquinas são levadas a aprender aquilo que o experimentador tinha em mente quando as criou.

A verdadeira aprendizagem, segundo a concepção piagetiana, não pode ser supervisionada. O agente deve ser livre e capaz para determinar quais aspectos do mundo exterior deseja aprender. A aprendizagem não é um mero repasse de conhecimento ou treinamento.

A aprendizagem, no conceito piagetiano, consiste na reequilibração das funções cognitivas do agente face às perturbações do meio ambiente. Neste sentido, o modelo mostra que agentes vivendo em meios com poucos aspectos aprenderão menos do que aqueles que vivem em meios complexos e cheios de variações e detalhes.

---

<sup>1</sup>No que se segue aproveitou-se ao máximo o trabalho original de Wazlawick (1993), inclusive as figuras.

A nível de equilibração de estruturas sensório-motoras, vários aspectos da teoria piagetiana foram implementados no simulador desenvolvido por Wazlawick. A questão dos patamares de equilíbrio pode ser vista claramente quando o modelo é posto em funcionamento. Um esquema que prevê a manutenção das condições do ambiente pode ter seu valor de avaliação elevado até um certo ponto e pode ser o único vencedor de uma iteração. Se a ação associada a este esquema não modifica as condições do meio ambiente, então o agente entra momentaneamente em equilíbrio estático com o ambiente. Neste caso, o esquema é repetidamente aplicado para que o ambiente permaneça como está.

A manutenção da situação externa ocasiona a ativação da reprodução conservativa. A existência da mutação garante que, em algum momento, um outro esquema será vencedor da competição e poderá ser ativado. Quando isto ocorrer, a ação gerada por este esquema poderá levar o agente a uma situação diferente da atual na qual o esquema anterior que estava em equilíbrio estático não poderá mais ser ativado. Neste caso, novos esquemas serão testados para que o agente entre novamente em equilíbrio. Como o esquema anterior não é destruído e novos esquemas são criados para gerar o novo equilíbrio, pode-se dizer que o agente encontrou uma situação de equilíbrio majorado, porque agora duas situações, e não apenas uma podem ser tratadas por ele.

Existem, de acordo com Piaget, três formas de equilíbrio: *Sujeito/Objeto*; *Esquema/Esquema*; *Esquema/Sistema de Esquemas*. Destas, apenas a primeira é tratada no modelo de Wazlawick. Na Equilibração sujeito/objeto, a questão da diferenciação de esquemas em sub-esquemas é claramente tratada por um algoritmo de diferenciação.

Um esquema bom é reproduzido sempre que for ativado e tiver seu valor de avaliação diminuído. A hipótese básica é de que o campo conceitual do esquema esteja muito geral. Por isso um de seus descendentes terá limiar de ativação mais alto do que o gerador. Isto faz com que a ativação do descendente ocorra menos freqüentemente e, quando ocorrer, para observáveis que satisfaçam com muita precisão o vetor  $W$ .

Ao mesmo tempo, o esquema gerador é composto com vários outros esquemas pela via genética. Supõe-se que a maioria dos novos esquemas possa ser ativada na próxima iteração. Estas ativações, se ocorrerem, serão os testes para os novos esquemas. Como o agente não pode prever qual a ação mais adequada, o próprio mecanismo de seleção fará isto. Os esquemas que forem ativados e produzirem resultado pior do que o antecessor ficarão à disposição do coletor de lixo e serão os primeiros a serem destruídos. Os esquemas que forem ativados e produzirem bons resultados são preservados como variações especializadas do esquema antecessor.

Aqueles que nunca forem ativados serão, em algum momento destruídos pelo coletor de lixo, uma vez que seus valores de avaliação são definidos ligeiramente abaixo do limiar de destruição.

A Equilibração parte/parte (esquema/esquema) e parte/todo (esquema/sistema de esquemas) não foi implementada por Wazlawick. Presume o mesmo que seja possível aplicar o mecanismo genético também a estes tipos de equilibrações. Seriam necessários meta-esquemas capazes de inspecionar a configuração de esquemas existentes aglutinando e dividindo esquemas com o objetivo explícito de evitar contradições e redundâncias. O sistema procura evitar apenas os desequilíbrios com os observáveis externos. Também seria necessário que outros meta-esquemas pudessem criar esquemas especialmente adaptados para resolver os casos de lacunas e contradições nas partições das classificações.

A tese de Wazlawick (op. cit.) deixa claro que a ação de um agente constitui uma busca pelo equilíbrio de suas funções com o meio. Uma proposta de meta-esquema procura dar um início à Equilibração das funções entre si. Enquanto os esquemas de nível 0 constituem ações simples isoladas, os meta-esquemas desenvolvidos produzem ações mais complexas, prevendo objetivos mais a longo prazo. Pelo fato de serem mais sujeitas a erros, essas previsões fazem com que a manutenção de meta-esquemas seja difícil. No caso, um meta-esquema deve ser muito preciso para ser mantido pelo agente.

A reversibilidade de duas ações pode ser codificada por um meta-esquema formado por dois esquemas  $e_1$  e  $e_2$ . A regulação de esquemas aparece claramente no modelo. Quando uma ação atinge os seus objetivos (do esquema), ocorre um feed-back positivo, que ocasiona uma melhora da avaliação do esquema. Essa melhora, porém é assintótica, ou seja, a avaliação de cada esquema tende a um limite que depende da porcentagem de posições próprias em seu vetor objetivo. Assim, esquemas com objetivos mais bem definidos tendem a valores de avaliação superiores aos dos esquemas cujos objetivos são muito genéricos.

Se a ação do esquema não foi bem sucedida, então a avaliação do esquema é reduzida e uma população de soluções alternativas é gerada. Se na iteração seguinte o esquema original for novamente o vencedor, sua ação será retomada. Dependendo da situação, a retomada poderá levar a um êxito, ou a uma nova diferenciação gerando mais esquemas alternativos para a situação presente. Como o processo de crossover tende a gerar alguns esquemas mais genéricos e outros mais específicos do que o original, é possível que em algum momento um esquema mais específico, e que portanto tenda a um valor de avaliação maior, seja ativado. Se o esquema for bem sucedido, pode-se dizer que houve uma regulação de correção, pois já que o esquema original não tratava bem a situação, um novo esquema mais específico foi criado para tratá-la.

Quanto aos três tipos de lacunas, pode-se concluir o seguinte:

- ☛ Quanto às necessidades insatisfeitas: ocorrem precisamente quando um esquema não atinge seus objetivos, causando a regulação citada acima.
- ☛ Quanto à falta de um objeto para alimentar o esquema: o modelo não prevê a noção de "objeto", mas de "sensações" ou "observáveis", que são transformadas em números reais e repassadas ao agente por seus sensores.

Quando um esquema tem várias posições próprias, somente será ativado em situações muito específicas, nas quais todos os observáveis previstos estiverem presentes. Na falta destes observáveis outros esquemas mais genéricos poderão ser ativados.

- ☛ Quanto à falta de condições para concluir uma ação: ações compostas são efetivadas por meta-esquemas. Uma ação pode ser iniciada por um meta-esquema e não ser bem sucedida. Neste caso, as ações associadas aos esquemas componentes são executadas sem verificar se estes observáveis estão ou não presentes. Como a existência destes observáveis é prevista pelo meta-esquema, se eles não existirem a ação não será concluída a contento. Então o meta-esquema terá seu valor de avaliação rebaixado.

Quanto à perturbações por contradição, foram listados quatro tipos de comportamentos esperados. As seguintes observações podem ser feitas a este respeito:

- ☛ *Repetição da ação*: como a seleção do esquema vencedor em cada instante é feita por sorteio ponderado, então um esquema que falhou no instante  $i$  poderá ser aplicado novamente no instante  $i+1$ . Se o esquema não está funcionando, então seu valor de avaliação é reduzido a cada aplicação, o que torna cada vez mais difícil sua eleição num instante seguinte.

- ☛ *Cessar completo da ação*: o não funcionamento de um esquema reduz seu valor de avaliação. Em algum momento, o esquema poderá ter seu valor tão reduzido que será destruído pelo coletor de lixo.

- ☛ *Atividade em outra direção*: como a escolha do vencedor ocorre por sorteio ponderado entre aqueles que, em princípio poderiam tratar os objetos presentes na entrada, então se houver outros esquemas vencedores, eles poderão ser ativados a qualquer momento, fazendo com que o agente siga por outras direções. Tais ativações podem inclusive fazer desaparecer as condições de ativação originais criando uma nova situação para o agente.

- ☛ *Regulação*: a ação de um esquema pressupõe sempre uma regulação. O primeiro tipo de regulação trata da aprendizagem neuronal dos objetos e objetivos do esquema e ocorre sempre que o esquema for ativado. O segundo tipo de regulação trata da reprodução genética de um esquema e ocorre sempre que a avaliação de um esquema bom for reduzida em uma iteração. O primeiro caso de regulação necessariamente melhora o valor de avaliação do esquema para a situação presente. O segundo caso de regulação produz resultados médios a longo prazo, pois novidades tem que ser geradas e testadas para que a ação regulatória possa ser efetivada, isto é, um grupo de esquemas fortemente adaptados às condições do ambiente tem que ser criados para garantir o equilíbrio entre as funções cognitivas e o meio externo ao agente.

O mecanismo de regulação de esquemas implementado no simulador atua de forma satisfatória para esquemas de nível 0.

O mecanismo de regulação de meta-esquemas trata apenas da criação e destruição de meta-esquemas. Sua diferenciação não é tratada a nível meta, mas a nível de esquemas. Em outras palavras, quando um meta esquema não vai bem, é necessário esperar que seu valor de avaliação baixe a ponto dele ser destruído. Paralelamente, outro meta-esquema pode ser criado, tendo assim chance de ser bem sucedido. Mas a diferenciação de meta-esquemas, e seu mecanismo de auto-reprodução não foram tratados.

Quanto às duas formas de compensação pode-se afirmar o seguinte:

• *Inversão*: o recalque de uma perturbação pode ocorrer quando o agente, na presença de um fator perturbador em um de seus sensores escolhe ativar algum esquema que tenha posição imprópria no vetor  $W$  para este sensor. Mesmo que a perturbação desapareça momentaneamente, sua volta fará com que novamente o agente tenha que apelar para a inversão ou que faça uma compensação do tipo descrito a seguir.

• *Reciprocidade*: A reciprocidade é a forma de compensação que cria novos esquemas para tentar tratar a perturbação com sucesso.

Todo o processo de regulação de esquemas tende ao equilíbrio do agente com o meio. O primeiro aspecto de majoração deste equilíbrio é caracterizado claramente pelo processo de criação contínua de novos esquemas e avaliação dos mesmos. Este processo leva à exclusão dos ruins e manutenção dos bons esquemas. Assim, quanto mais perturbações existirem, mais o agente crescerá em conhecimento a medida que assimilar estas perturbações. Durante a experimentação com o modelo observou-se, e isto já era previsto, que quanto mais rico em formas e variações em seus padrões, mais o agente aprende e mais esquemas bons são construídos. Um agente colocado em um meio ambiente com poucos elementos para experimentação, ou com poucos sensores e efetores para variar suas visões do mundo, será um agente que construirá uns poucos esquemas, os quais até funcionarão bem para as poucas situações existentes, mas se acomodará. Já um agente criado em um meio mais rico, exposto às perturbações, que são o motor do desenvolvimento, será capaz de construir estruturas cognitivas complexas, já que sua natureza o obriga a procurar o equilíbrio, e este equilíbrio pressupõe uma aproximação com um meio complexo.

A abstração reflexiva, segundo aspecto da majoração, é implementada na sua forma positiva, isto é, as seqüências válidas de aplicações de esquemas, formando cadeias conexas de ações são tomadas e abstraídas a nível de meta-esquemas. Estes meta-esquemas são continuamente reavaliados, o mesmo ocorrendo com seus componentes. A forma negativa da abstração reflexiva, que seria incorporar ao modelo os caracteres negativos dos objetos e das ações, não é implementada.

Apenas uma negação parcial é possível no mecanismo dos meta-esquemas CR. Esta negação trata da exclusão mútua dentre as classes complementares do meta-esquema.

Se esta exclusão mútua é capaz de gerar as formas de negação conscientes o assunto não foi abordado por Wazlawick.

Em relação à Lógica Operatória, obteve-se, com o uso de meta-esquemas, uma aproximação do processo de construção de estruturas semelhantes a agrupamentos no nível sensório-motor. Graças às definições apresentadas na tese, foi possível determinar a estrutura genérica subjacente à uma grande variedade de estruturas cognitivas. De fato, a combinação de estruturas *CR* e *RA* permitiu construir relações assimétricas, simétricas, co-unívocas e biunívocas, e também as classificações simples e múltiplas.

Meta-esquemas são formas que possuem outros esquemas como conteúdo. Os esquemas de nível 0, porém possuem como conteúdo observáveis, ações, e objetivos externos, os quais correspondem aos conteúdos extra-lógicos que são, portanto, logicamente indecomponíveis.

A abstração de conteúdos, quando implementada, poderá levar o agente do estágio sensório-motor para o estágio operatório, através das composições dos meta-esquemas de classificação e relacionamento.

O modelo proposto neste trabalho abre caminho para a construção de um ambiente generalizado para experimentação com as teorias Piagetiana. Piaget descreveu várias experiências que envolviam a construção de estruturas cognitivas como classes, relações e números. Tais experiências poderiam ser editadas em um ambiente que permitisse simular estas situações.

Para efetivar esta abordagem, seria necessário um ambiente no qual o usuário pudesse editar micro-mundos e povoá-los com agentes cognitivos. Diversas configurações físicas poderiam ser testadas, fazendo-se variar os parâmetros dos sensores e efetores dos agentes e também dos efeitos de suas ações no meio ambiente. O programa que foi desenvolvido em Smalltalk para o modelo proporciona um núcleo para o desenvolvimento deste ambiente, e pode ser aproveitado como tal.

Uma forma de oferecer a um agente cognitivo um meio ambiente rico em conteúdos seria colocando-o em contato com o mundo real, ou seja, construir um robô físico com sensores e efetores, capaz de interagir com o mundo real, programado com o mecanismo de esquemas. Muitos autores rejeitam este tipo de ação por considerarem que um modelo pode funcionar tão bem em simulação quanto no mundo real. Porém, como foi visto, uma interação do modelo será melhor em ambientes mais complexos, e seria impossível construir no computador um ambiente virtual com a complexidade existente no mundo real.

Conforme Rocha Costa (1989), se o que se deseja é uma máquina capaz de lidar com o imprevisto, deve-se conceber uma máquina capaz de se adaptar. Máquinas programadas não são capazes de realizar adaptação. Elas são, em certa medida intolerantes a falhas. Para alcançar a adaptação, a máquina deve ser capaz de extrair informações em tempo de execução e modificar seu comportamento para acomodar estas informações, se for necessário.

O modelo operatório provê mecanismos que permitem este tipo de adaptação e, mais do que isso, que permitem abstrair a si próprios, gerando a nível meta algumas estruturas cognitivas conhecidas.

### 9.3.1 Interface Genérica com o Mundo

Cada individualidade constrói uma representação do mundo físico em termos 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 (op. cit.) define as entradas e saídas sensório-motoras como simples vetores de números reais. Estes vetores, podem ser conectados a dispositivos analógicos sensório-motores. Mas não se define a princípio que dispositivos são estes, nem qual a realidade à qual eles estão conectados. Assim, trabalha-se apenas com a generalidade sem preocupação com a implementação física do meio ambiente. A idéia é que o modelo de agente seja aplicável a qualquer ambiente, e não apenas a ambientes onde ele tenha um braço, ou um olho específico, etc.

### 9.3.2 Vetores Reais

Para efetivar o modelo é necessário que se possa dar uma medida de similaridade entre vetores de números reais. Assume-se que os elementos do vetor variam apenas no intervalo  $[0, 1]$ . A medida do numero de elementos de um vetor real  $R$  é denotada por  $|R|$ . Esta medida denota um número natural que indica quantas posições o vetor real contém. A *similaridade entre dois vetores reais  $R$  e  $S$  de mesmo tamanho  $t$  ( $|R| = |S| = t$ ), é dada por:*

$$sim_{MT}(R, S) = \frac{\sum_i (1 - abs(r_i - s_i))}{t}$$

Nem sempre dois vetores a serem comparados têm o mesmo tamanho. Nestes casos é necessário parear os elementos de um e outro vetor de forma que a semelhança entre eles possa ser medida. Wazlawick optou por parear os vetores usando valores indeterminados nas posições do vetor menor que não possuem correspondente. Estes valores serão representados por "#". Essa opção facilita as operações de manipulação genética destes vetores.

A similaridade, neste caso, só é medida nas posições em que os vetores possuem elementos diferentes de "#". Nas posições onde não haja elementos correspondentes assume-se um valor de 0.5 para a semelhança, porque este valor não afeta a média da avaliação como um todo.

$$sim(R, S) = \frac{\sum (1 - abs(sub(r_i, s_i)))}{t}$$

onde:

$$sub(r, s) = \begin{cases} 0.5 & \text{se } r = \# \text{ ou } s = \# \\ r - s & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Se um vetor possui elementos impróprios, pode-se dar uma medida de tamanho em relação aos elementos próprios. Esta medida é denotada por  $|R|_{próprio}$ . Por exemplo, para  $R = (0.1, \#, \#, 0.5, 0.6)$  tem-se  $|R| = 5$  e  $|R|_{próprio} = 3$ .

### 9.3.3 Entrada Sensorial

O vetor  $X$  de um agente cognitivo representa a sua entrada sensorial. É através do vetor  $X$  que o agente tira suas impressões do mundo. Cada número real pode representar uma sensação específica, correspondendo desde um terminal nervoso até um conceito complexo elaborado em uma rede semântica. A idéia central é de que o modelo possa ser mantido genérico em sua área de aplicação desde que as entradas sensoriais do agente possam ser traduzidas em uma seqüência de números reais.

Outro exemplo de aplicação seria fazer cada terminal de entrada corresponder a um conceito mais complexo, como cor, tamanho, peso, etc, podendo ser aplicado diretamente aos observáveis: Seja  $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$

Sensação de cor	$\mapsto x_1$
Sensação de peso	$\mapsto x_2$
Sensação de tamanho	$\mapsto x_3$
Sensação de forma	$\mapsto x_4$

Tais sensações poderiam ser retiradas diretamente de uma rede semântica. Assim um objeto representado em uma rede semântica por: *(vermelho, leve, pequeno, caixa, ...)*, poderia ser traduzido para *(0.63, 0.21, 0.19, 0.84, ...)*, onde 0.63 corresponde a faixa de cor para o vermelho, 0.21 corresponde a um peso leve, etc.

### 9.3.4 Saída Motora

O vetor  $Y$  de um agente cognitivo é um vetor de efetores, ou seja, ele corresponde aos terminais que ativam movimentos.

Estes movimentos podem consistir desde a ativação de nervos individuais, até a execução de movimentos complexos, como por exemplo, agarrar um copo. O nível de representação utilizado depende novamente da aplicação do modelo.

O vetor de efetores atua diretamente sobre o meio ambiente. Cada vez que um novo valor é colocado neste vetor, o movimento correspondente é executado. Por exemplo, se cada valor individual representa o estado de um músculo particular, o valor 0.0 pode se referir ao estado em que o músculo está completamente relaxado e o valor 1.0 pode se referir ao estado em que o músculo está completamente contraído.

Obviamente, é possível usar todos os valores no intervalo  $[0,1]$  para representar os estágios intermediários de tensão muscular. Assim, uma situação em que, por exemplo, deseja-se fechar a mão do agente, pode ser executada colocando-se no vetor de efetores  $Y$  a configuração de valores adequada. Seja, por exemplo:

$$Y \leftarrow (0.84, 0.67, \#, 0.12, \#, 0.56)$$

No caso, há quatro músculos para os quais foram definidos os valores 0.84, 0.67, 0.12 e 0.56. Cada um destes valores indica o estado de tensão de cada músculo para que a mão se feche. Duas posições do vetor tiveram valores indefinidos, representados por #. Isto significa que os músculos correspondentes a estes valores não são significativos no ato de fechar a mão, e que por isso, não precisam ter seus valores modificados.

Evidentemente, tudo o que foi dito acima sobre tensão de músculos constitui-se apenas em um exemplo ilustrativo da aplicação de vetores de reais como interface. Não se está defendendo a interface específica em que cada valor corresponde ao estado de um músculo. Outros modelos poderiam ser utilizados sem afetar a definição do mecanismo cognitivo, que trabalha apenas a nível de interface (vetores).

### 9.3.5 Agente Cognitivo

O modelo é formado por um ambiente povoado por agentes que procuram equilibrar suas estruturas cognitivas (esquemas) às características do ambiente e à interação com os outros agentes. Um agente cognitivo  $AC$  é formado pela seguinte estrutura:

$$AC = (X, Y, \maxPop, \minPop, E_B, E_R)$$

onde:

$X$  e  $Y$  são vetores de números reais no intervalo  $[0,1]$ ;

$\maxPop$  e  $\minPop$  são constantes naturais;

$E_R$  e  $E_B$  são conjuntos de esquemas.

A constante  $\maxPop$  define o número máximo de esquemas que o agente pode possuir e  $\minPop$  define o número mínimo de esquemas que o agente pode possuir. Os  $E_B$  e  $E_R$  são formados de esquemas.

### 9.3.6 Esquemas

O *esquema* conforme proposto por Wazlawick (op. cit.) é uma estrutura dada por:

$$e = (W, V, A, \lambda, \mathcal{G}, \alpha, \delta)$$

onde:

$W, V$  e  $A$  são vetores de reais no intervalo  $[0,1]$ ;

$\lambda$  é uma constante real no intervalo  $[0.5,1]$ ;

$\delta$  é uma constante real no intervalo  $[0.1,1]$ ;

$\mathcal{G}$  é uma variável real no intervalo  $[0,1]$ .

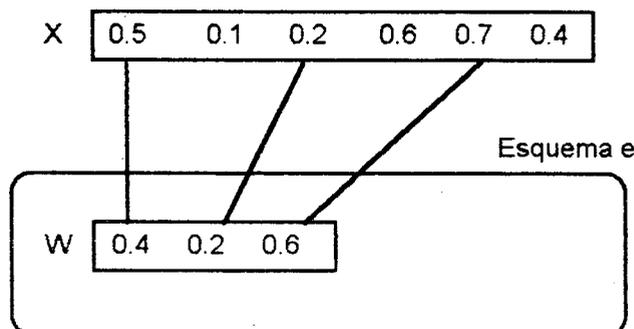
$\alpha$  é uma variável real no intervalo  $[0.1,0.7]$

### 9.3.6.1 Objetos do Esquema (o vetor $W$ )

O vetor  $W$  indica ao esquema quais são os observáveis, ou qual é a classe de objetos à qual o esquema pode ser aplicado. Este vetor corresponde a uma pré-condição necessária para a ativação do esquema.

Este vetor possui valores que estão associados a certas posições do vetor de entrada sensorial  $X$  do agente. Quanto maior for o grau de similaridade entre o vetor  $W$  e as posições equivalentes na entrada  $X$  do agente, maior será a possibilidade de que o objeto percebido pelo agente seja o objeto que o esquema pode tratar.

Por exemplo, considere a seguinte situação:



Nesta figura, mostra-se um determinado momento da entrada sensorial em que os valores "sentidos" são  $(0.5, 0.1, 0.2, 0.6, 0.7, 0.4)$ . Ao mesmo tempo, um esquema qualquer possui em sua entrada  $W$  os valores  $(0.4, 0.2, 0.6)$ . Estes valores estão associados a certas posições de  $X$ :  $0.4$  à primeira posição,  $0.2$  à terceira posição e  $0.6$  à quinta posição. Para se medir a similaridade entre o objeto percebido pela entrada e o objeto exigido pelo esquema, deve-se procurar minimizar a diferença entre os valores de  $W$  e seus equivalentes em  $X$ .

O vetor  $W$  consiste de valores reais correspondendo aos pesos de uma rede neuronal cujo vetor de entrada é um fragmento do vetor de entrada sensorial  $X$  do agente. Ou seja,  $W$  é um vetor de pesos ligando partes da entrada  $X$  ao esquema. Por exemplo:

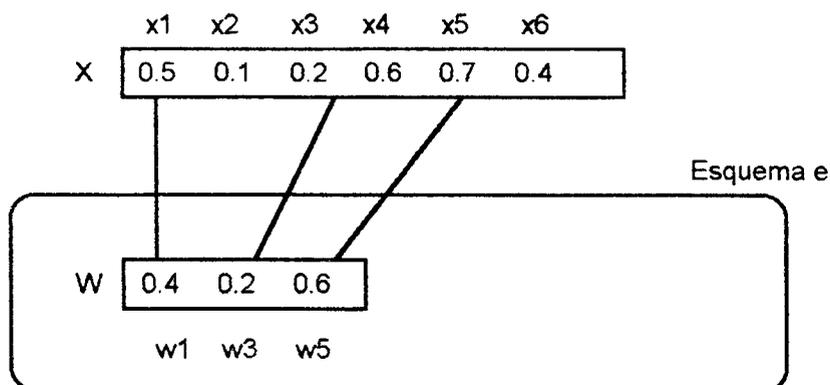


Figura 9.2 Ligações entra a entrada de um agente cognitivo e a entrada de um esquema

Esta situação pode ser modelada facilmente utilizando um vetor  $W$  com o mesmo tamanho de  $X$  mas com algumas posições impróprias, indicando falta de interesse do esquema por aquela sensação específica. Para o exemplo acima, o vetor  $W$  poderia ser:  $(0.4, \#, 0.2, \#, 0.5, \#)$ , porque as posições  $x_2$ ,  $x_4$  e  $x_6$  são impróprias.

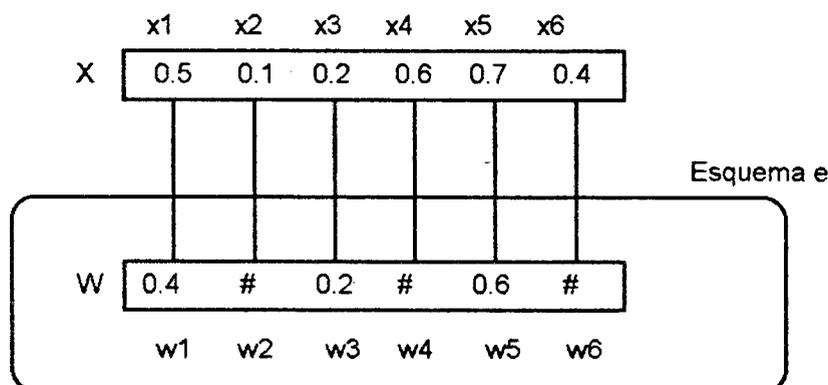


Figura 9.3 Exemplo de preenchimento de um vetor  $W$  com posições impróprias

### 9.3.6.3 Limiar de Ativação ( $\lambda$ )

O limiar de ativação  $\lambda$  de um esquema determina quando o esquema está pronto para disparar, isto é quando a similaridade entre  $W$  e  $X$  é alta o suficiente para indicar que os observáveis necessários à ativação do esquema estão presentes. O valor de ativação de um esquema corresponde à similaridade entre  $X$  e  $W$ . Assim, um esquema só está pronto para disparar quando  $\text{sim}(X, W) > \lambda$ .

Se o esquema está pronto para disparar, isto não quer dizer que ele seja realmente ativado. Sua ativação dependerá de outros fatores. Se um esquema está pronto para disparar isto significa apenas que os observáveis necessários para a ativação do esquema estão presentes no meio ambiente. Como a similaridade média entre dois vetores aleatórios nunca ultrapassará  $\lambda$  é sempre definido no intervalo  $[0.5, 1]$ . Este valor pode ser definido aleatoriamente quando o esquema for criado.

Quanto menor o valor de  $\lambda$ , maior a chance do esquema ficar pronto para disparar para uma entrada qualquer. Um esquema com  $\lambda$  baixo é mais genérico do que um esquema com  $\lambda$  alto porque pode ser ativado para uma quantidade maior de observáveis.

Evidentemente, como o modelo é de múltiplos vencedores, haverá interpenetração de espectros, ou seja, para alguns conceitos possíveis, haverá mais de um esquema ativável. Por exemplo, pode haver um esquema especializado em objetos pequenos e outro esquema especializado em objetos pequenos e brilhantes (um conceito é subtipo do outro). Este tipo de situação proporciona a base para a construção das estruturas de classificação.

#### 9.3.6.4 Ação Motora (A)

O vetor de ação motora  $A$  consiste de um vetor que pode ser pareado ao vetor  $Y$ . Aplica-se aqui uma idéia semelhante à usada para  $X$  e  $W$ . Quando o esquema é ativado, todos os valores próprios de  $A$  são atribuídos às posições correspondentes do vetor de motricidade (saída)  $Y$  do agente, enquanto se espera que esta ativação ocasione algum efeito no mundo lá fora. A ativação é representada por  $Y \leftarrow A$ .

A ativação ou disparo de um esquema consiste exatamente em atribuir os valores próprios de  $A$  às posições correspondentes em  $Y$ , mantendo os outros valores de  $Y$  inalterados.

Assim, os valores que já estavam no vetor  $Y$  do agente são mantidos a não ser que lhes sejam atribuídos outros valores próprios. A situação pode ser visualizada esquematicamente na seguinte figura:

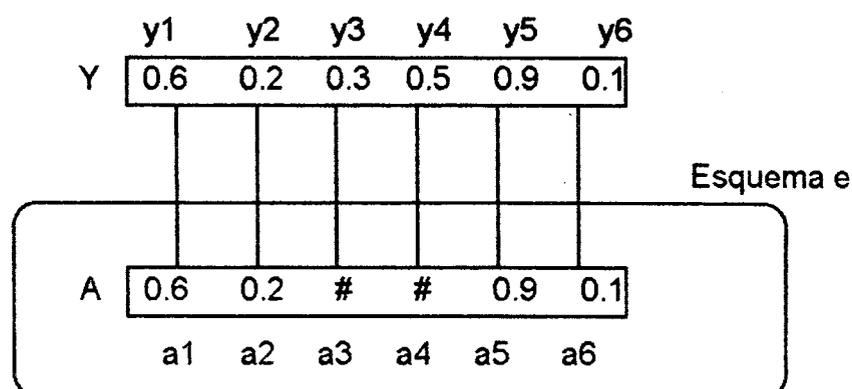


Figura 9.4 Ligação entre a saída motora de um esquema e a saída motora do agente cognitivo

É importante deixar claro que  $X$  e  $Y$ , os vetores de entrada e saída do agente não possuem valores impróprios, isto porque, por exemplo, todos os nervos estão continuamente com algum valor, seja de entrada ou saída. A filtragem destes valores, isto é, a definição de quais são os nervos relevantes em um dado momento, é feita pelos esquemas, que possuem vetores de entrada  $W$  e de saída  $A$  com valores impróprios, ou seja, valores irrelevantes.

As posições impróprias de  $W$  correspondem a sensações presentes em  $X$  e ignoradas pelo esquema. As posições impróprias de  $A$  correspondem a ações irrelevantes para o esquema, e que, portanto, são ignoradas quando da atribuição de  $A$  a  $Y$ .

### 9.3.6.5 Objetivos ( $V$ )

O vetor objetivo  $V$  de um esquema consiste de um vetor do mesmo tamanho de  $X$ , possivelmente com valores impróprios, que representa a situação prevista pelo esquema. O vetor objetivo contém uma representação daquilo que o agente espera sentir após ativar o esquema. Essa representação não pode levar em conta todas as sensações, por isso  $V$  também será modelado por um vetor de pesos no qual as posições impróprias são correspondentes às sensações irrelevantes para os objetivos do esquema.

O vetor objetivo é comparado ao vetor de entrada  $X$  do agente após a ativação do esquema para efetivar sua avaliação. Um esquema de pegar um copo pode ser ativado apenas quando o copo está presente em  $X$ . Neste caso, se a similaridade entre  $X$  e  $W$  do esquema "pegar copo" for suficiente para ativar o esquema, ele pode ser realmente ativado pela atribuição de  $A$  ao vetor de motricidade  $Y$  do agente. Uma vez ativado, o esquema espera sentir várias sensações, entre elas, frio ou calor, dependendo da temperatura prevista para o copo; podem existir inclusive especializações para este esquema como "pegar copo frio" ou "pegar copo quente". Outras sensações como peso, e rugosidade da superfície do copo também podem ser relevantes para o esquema. Estas previsões estão registradas no vetor  $V$  do esquema. Se as previsões não corresponderem ao estado das coisas após a ativação do esquema, isto é, se a similaridade entre  $X$  e  $V$  após for inferior a um certo limiar, é porque o esquema não está funcionando a contento. Neste caso outro esquema deve ser ativado, ou então o esquema deve ser especializado. Quanto maior for a similaridade entre  $X$  e  $V$ , mais perto o esquema chegou de seu objetivo.

### 9.3.6.6 Avaliação ( $\mathcal{G}$ )

A avaliação de um esquema, registrada em  $\mathcal{G}$ , é feita cada vez que o esquema é ativado. Quanto maior for o valor de avaliação, melhor será o esquema. A avaliação deve privilegiar as ativações mais recentes do esquema em detrimento das mais antigas, pois o esquema se modifica com o tempo. Uma maneira de se obter este efeito é atribuir ao valor obtido no instante  $t$  o mesmo peso da média obtida até o instante  $t-1$ . Faz-se então a média aritmética simples entre o valor atual e a média dos valores anteriores. Assim, a forma de avaliação usada por Wazlawick (op. cit.) foi:

$$\mathcal{G}_{novo} = \frac{\mathcal{G}_{velho} + sim(X, V)}{2}$$

Isto é, o valor do esquema após uma ativação corresponde à média simples do valor anterior do esquema pela medida de similaridade da sensação obtida  $X$  em relação ao objetivo  $V$ . Para um esquema recém criado, que nunca foi ativado, o valor de avaliação  $\mathcal{G}$  deve ser fixado ligeiramente abaixo da constante  $\delta$ , que será explicada mais adiante.

### 9.3.6.7 Limiar de Destruição $\delta$ de um Esquema

O limiar de destruição poderia ser o mesmo para toda a população de esquemas, ou variável, específico para cada esquema. Wazlawick (op. cit.) optou por defini-lo como específico a cada esquema, e como função do limiar de ativação e do número de elementos próprios do vetor  $W$  do esquema.

Espera-se que um esquema com um vetor  $W$  com muitas posições próprias atenda a uma quantidade grande de estímulos e assim, produza um erro maior a cada ativação. Já os esquemas cujo vetor  $W$  possua poucas posições próprias são atentos a menos estímulos e, por isso, devem produzir erros menores. Assim, o limiar de destruição deve ser diretamente proporcional ao tamanho próprio de  $W$ .

Além disso, quanto maior o limiar de ativação  $\lambda$  de um esquema, mais específico ele será, assim, ele deve produzir erros pequenos. Porém esquemas com limiar de ativação muito baixo são ativados muito freqüentemente, produzindo erros maiores. Portanto, o limiar de destruição de um esquema deve ser inversamente proporcional ao limiar de ativação. O limiar de destruição  $\delta$  de um esquema  $e$  pode ser definido de acordo com a seguinte fórmula:

$$\delta(e) = \max\left( (1 - \lambda) \times \frac{|W(e)|_{\text{próprio}}}{|W(e)|}, 0.1 \right)$$

Um esquema pode ser destruído sempre que seu valor  $\mathcal{S}$  for menor do que  $\delta$ . O valor de destruição é definido sempre acima de 0.1 para que não sejam criados esquemas indestrutíveis aleatoriamente. De fato, não é desejável que esquemas cujo valor de avaliação fique muito próximo de 0 sejam mantidos.

### 9.3.6.8 A Variável $\alpha$ de um Esquema

A variável  $\alpha$  é um critério de flexibilidade de aprendizagem associado ao emprego de redes neuronais de Kohonen. Se  $\alpha$  for igual a 1.0, então a cada entrada  $X$  o vetor de pesos ficará exatamente no ponto médio entre sua posição anterior e a entrada. Quanto menor for a variável  $\alpha$ , menor será a participação da entrada  $X$  no novo valor do vetor, ou seja, cada vez o vetor se moverá menos em direção à entrada.

Finalmente, se  $\alpha$  for igual a zero, o vetor pára de se mover a cada entrada, ficando congelado em uma posição.

Normalmente, usa-se  $\alpha$  inicializado aleatoriamente entre 0.2 e 0.7 e tendo seu valor diminuído a cada iteração da rede, chegando a um mínimo de 0.1. Isto permite que, de início, alguns vetores se movam rapidamente em busca de suas nuvens de pontos, de acordo com o funcionamento desse tipo de redes e, com o passar do tempo, passem a se mover menos, apenas girando em torno do centro da nuvem de pontos, o que fornece

certa estabilidade à rede. Outros vetores já são criados com  $\alpha$  baixo para dar mais estabilidade à rede nos primeiros momentos do treinamento.

Todavia, no caso de sistemas em que situações inesperadas ocorrem, a estabilidade não deve ser sempre mantida. A estabilidade pode ser mantida quando o esquema funciona bem para todas as entradas que lhe são próprias.

### 9.3.7 O Meio Ambiente como Agente

Pode-se conceber o meio ambiente como tendo uma funcionalidade semelhante à de um agente. Assim, a interação entre o agente e o meio se daria da seguinte forma:

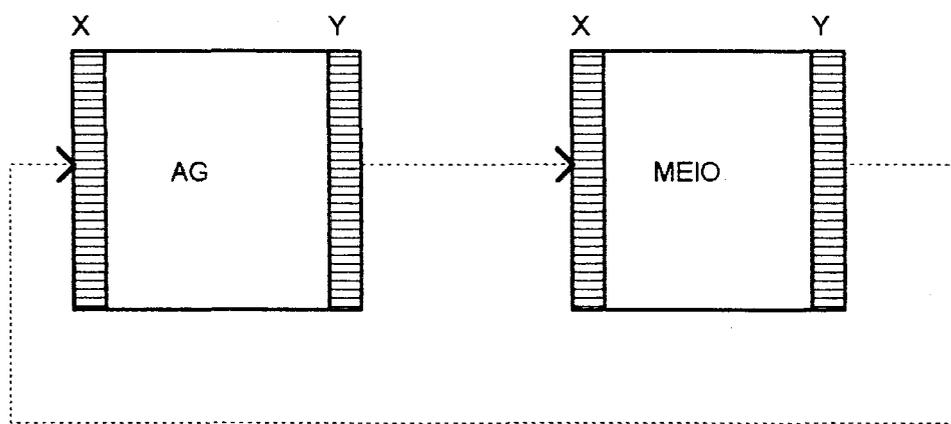


Figura 9.5 Ligações entre um agente e seu meio ambiente

Na figura, o agente observa o meio via  $X(AG)$ , decide a ação a ser efetuada e a atribui a  $Y(AG)$ . O meio ambiente sofre a ação do agente, sentindo-a via  $X(MEIO)$  e, após resolver suas coordenações internas produz uma resposta ao agente, que é colocada em  $Y(MEIO)$  e recebida pelo agente em  $X(AG)$ , completando assim o ciclo.

Pode-se, ainda, fazer uma analogia comparando os observáveis do sujeito ( $Obs.S$ ) com as sensações dadas pelo vetor  $X$ , filtradas pelos pesos  $W$  do esquema ativado. Assim, a forma como o sujeito vê o mundo depende dos filtros que ele próprio tenha construído. Em compensação, os observáveis disponíveis nos objetos ( $Obs.O$ ), em sua forma pura, isto é, não interpretada, são dados pela saída  $Y$  do  $MEIO$ , isto é, os efeitos do meio ambiente.

É de se esperar, neste caso, que o vetor  $Y(MEIO)$  seja muito maior do que  $X(AG)$ , e que dificilmente uma situação real poderia ser simulada computacionalmente com esta visão de ambiente. Ela serviria somente para pequenas simulações, e como modelo teórico para uma implementação de agente que realmente interagisse com o mundo físico.

Considerando o ambiente como agente, pode-se fazer os esquemas do meio corresponderem às coordenações dos objetos (*Coord.O*). Ou seja, quando uma ação é executada por *AG* e sentida pelo ambiente, certos esquemas pré-programados são postos em prática, e ele fornece uma resposta para o agente. Por exemplo, um copo que é largado de uma certa altura pode fornecer uma resposta à questão "quebra ou não quebra?" de acordo com uma série de coordenações entre objetos, como por exemplo, distância do chão, existência de obstáculos, dureza do chão, constante de gravidade, etc. Estas coordenações poderiam ser simuladas pelos esquemas pré-programados de *MEIO*. Por exemplo, se a distância for suficiente e o chão for bastante duro, o esquema "quebra" pode ser ativado. Caso contrário, o esquema "faz barulho" pode ser ativado mas não o esquema "quebra".

Finalmente, as coordenações do agente (*Coord.S*), independentemente da implementação do *MEIO* podem ser representadas por esquemas do agente. Para este propósito, porém, a estrutura definida até deve ser adicionada de certos elementos para que se obtenha um comportamento o mais adaptativo possível.

Assume-se assim, que o meio ambiente pode ser implementado como um agente pré-programado com uma série de esquemas que não são acessíveis ao agente *AG* a não ser via experimentação, quando ele procura construir seus próprios esquemas.

Um agente *AG* constitui-se de uma estrutura que não tem esquemas pré-programados (ou com poucos esquemas pré-programados) que vai tentar descobrir, via experimentação, quais são os esquemas existentes em seu meio ambiente.

Para que um agente deste tipo possa alcançar seu intento, ele deve ser capaz de realizar certas adaptações, ou modificações em seus esquemas, com o fim de aproximar os esquemas do ambiente. Assim, não se espera que o agente seja capaz de igualar o ambiente (uma vez que este pode ser infinitamente complexo em situações reais), mas que ele seja capaz de aproximar tanto quanto possível as estruturas do ambiente para que possa entendê-lo e adaptar-se a ele, alcançando assim o desejado equilíbrio.

## CAPÍTULO DÉCIMO

### DESCRIÇÃO DO MODELO

#### 10.1 Modelagem computacional da equilibração das estruturas cognitivas como proposto por Jean Piaget

*“O espírito e os princípios da ciência são uma mera questão de metodologia; não existe nada neles que impeçam a ciência de lidar com sucesso num mundo onde as forças são os pontos de partida de novos efeitos. A única coisa concreta que possuímos é a própria vida. A única categoria completa que nosso pensamento, nossos professores de filosofia ensinam é a categoria da personalidade, todas as outras categorias não passam de abstração dela. E essa negação sistemática da parte devida à personalidade na ciência como uma condição para os eventos, essa crença rigorosa de que a própria natureza essencial e interna de nosso mundo seja estritamente impessoal, quase que certamente, com o girar da roda do tempo, provará ser a grande deficiência de nossa tão aclamada ciência e nossos descendentes ficarão surpresos com a omissão, que aos olhos deles, nos caracterizarão como seres sem perspectiva e pequenos.” William James (1897)*

Dentro do conceito de *eco-ergonomia* definido no capítulo primeiro, organizações se constituem em entidades *autopoléticas* de ordem superior constituídas por outras de ordem inferior, como objetos inanimados, máquinas *auto e alopoléticas* e seres humanos. Esta visão da organização como uma entidade possuidora de uma individualidade estende o domínio da ergonomia deslocando o foco da mesma dos velhos paradigmas associados ao conceito de produtividade para uma abordagem holística que incorpora tanto as velhas percepções *tayloristas* como as mais recentes conquistas da *antropotecnologia*, somando, a esse binômio, um terceiro fator, o meio ambiente onde se desenvolve sua *autopolésis*.

O simulador que pretendemos construir fundamenta-se, teoricamente, nos trabalhos de *Matirana e Varela (1972)* e, embora dentro do presente trabalho, tenhamos nos concentrado mais em modelar o ser humano, que nada mais é que um tipo particular de entidade *autopolética*, nada impede que uma abordagem similar estenda o presente modelo para uma nova e provocadora forma de ver as organizações. Mais do que isso, diríamos que o presente trabalho é um primeiro e necessário passo nessa direção.

A partir da definição relativa aos sistemas *autopoléticos*, enriquecemos o presente modelo com os diversos estudos recentes propondo alternativas para a compreensão de sistemas complexos cujo comportamento não linear e variante no tempo exige uma matemática não disponível na atualidade. A falta dessa matemática, no entanto, não tem impedido que avanços consideráveis tenham sido obtidos. Diversas técnicas de abordagem de sistemas complexos auto-organizados foram apresentadas e discutidas. Modelos computacionais têm-se mostrado valiosas ferramentas para se efetuar simulações sobre tais sistemas onde hipóteses podem ser testadas e predições feitas.

Tanto o pensamento como a aprendizagem e a percepção são processos que dependem da história cognitiva ou, em outras palavras, da ontogênese *autopolética* que nos individualiza.

Modelos computacionais orientados para um processo e dependentes de um conteúdo parecem ser mais adequados que os modelos matemáticos para o tratamento da classe de entidades a qual pertencemos.

Para simular essa ontogênese *autopoiética*, ou seja, como uma entidade, a partir das estruturas inatas, desenvolve-se no sentido de preservar a sua *autopoiésis* dentro de um universo em contínua mutação, empregamos o mecanismo de equilibração proposto por Piaget como instrumento básico para a construção não só dessas estruturas cada vez mais elaboradas como, inclusive, de heurísticas que nada mais são, elas mesmas, que mecanismos construtivos gerados por mecanismos construtivos que vão gerar novos mecanismos construtivos dentro de uma recursividade que, como veremos, há de se repetir dentro de todo o modelo, nos mais diferentes níveis.

Segundo Piaget (apud Fagundes, 1988, p. 6) "*a inteligência tem uma dupla natureza biológica e lógica ... A inteligência é, em essência, uma organização, e sua função consiste em estruturar o universo como o organismo estrutura o meio imediato. Mas ela nada tem de independente, pois é uma relação entre outras, entre o organismo e as coisas*".

A inteligência, para nós, é uma construção. Sua natureza biológica poderia ser explicada por um simulador maior que modelasse nosso mundo e as condições atmosféricas a que esteve submetido. Conjecturamos que, de posse de tal modelo, veríamos funcionar os mecanismos da evolução, atuando de forma negentrópica, até que surgissem as entidades *autopoiéticas* mais simples, os procariontes e, a partir daí, buscando regiões de criticalidade auto organizada como a melhor resposta a um meio ambiente a ameaçar constantemente sua *autopoiésis*, emergir a consciência como a resultante dessa própria complexidade.

Nossa contribuição consiste na proposta de um modelo geral para o ser humano, de bases construtivistas, que não só une as conquistas nas diferentes áreas correlatas como é aberto a assimilações e acomodações; aos avanços que se registrem nesses conhecimentos. Em outras palavras, uma arquitetura que seja um *Sistema Aberto* (8.1) tanto em termos de hardware como de software, um sistema capaz de lidar com a dinâmica natural de execuções não-determinísticas.

A realização desse modelo é, como veremos, exequível porém impraticável dado a quantidade de recursos de hardware e software que precisariam ser alocados e os custos correspondentes. Como alternativa, dentro das limitações existentes, apresentamos alguns testes que comprovam, parcialmente, sua validade e aplicabilidade aos problemas relativos ao auto-conhecimento.

## 10.2 O sistema de processamento associado ao modelo

Um organismo atua dentro de seu meio ambiente executando *tarefas* que podem ser decompostas em *atividades*. *Regulação da atividade* é a função que tem por objetivo a seleção das tarefas e seu ordenamento no tempo e consiste em:

- fixar objetivos que constituem tarefas,
- definir prioridades entre estas tarefas,
- conceder recursos para sua realização (tempo a passar, esforço a fornecer),
- decidir pelo abandono de uma tarefa.

*Controle* consiste em utilizar os meios necessários à realização de uma tarefa, na monitoração do seu bom desenvolvimento e na avaliação dos resultados. *O controle é constituído pelas atividades que, uma vez fixada a tarefa, concorrem para sua realização sem aparecer diretamente nesta realização: são, de uma parte, anteriores e, de outra, posteriores à execução. As primeiras constituem a programação das ações, a qual utiliza ou busca planos elaborados especificamente para a tarefa ou procedimentos gerais. As segundas são as atividades de vigilância da execução, de diagnóstico e recuperação dos incidentes, de avaliação dos resultados da ação.* (Richard, 1990)

Os elementos e relações entre elementos da máquina *autopoietica* humana podem ser definidos, a partir dos estudos de Freud, pelos conceitos de *Subsistema de processamento primário (Id)*, *Subsistema de processamento secundário (Ego)* e *Espaço de Restrições (superego)*.

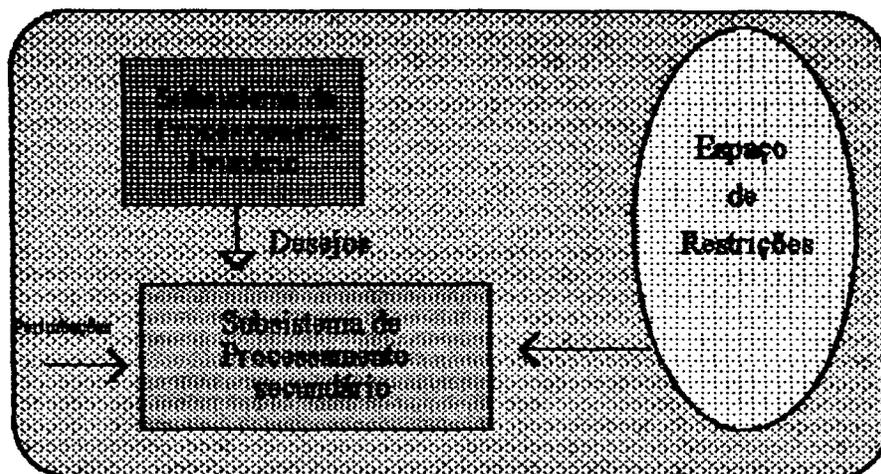


Figura 10.1 Sistema de Processamento associado a uma entidade *autopoietica*

Definimos um subsistema de processamento primário que, em nosso modelo, cumpre o papel de regulador de todas as tarefas da entidade *autopoiética* humana ligadas a busca pelo prazer.

O subsistema de processamento secundário regula outros tipos de tarefas submetendo-se, no entanto, de certa forma, às imposições do regulador primário. O subsistema de processamento secundário é responsável, ainda, pelo controle e execução das tarefas.

O espaço de restrições acumula a experiência da entidade em sua ação no mundo, construindo crenças que vão inibir determinados comportamentos.

#### ▣ Subsistema de processamento primário

Definimos como subsistema de processamento primário aquele que, a partir de estruturas que apresentam a forma *(desejos, objetivos que satisfazem esses desejos)* regulam todo o processo de aquisição de conhecimento. Essas estruturas são construídas pelo mecanismo de equilibração de Piaget a partir de estruturas inatas.

#### ▣ Subsistema de processamento secundário

O Ego, segundo Freud, se diferencia a partir do Id servindo de intermediário entre o desejo e a realidade sendo, acima de tudo, corporal e biológico. Do processador primário saem as mensagens internas que nos fazem ir ao mundo em busca dos objetivos que satisfaçam os nossos desejos.

O grau de sucesso ou insucesso pode ser associado às sensações de prazer ou desprazer. É a história desses sucessos, no entanto, que determina o estado de angústia de uma entidade *autopoiética*. Esta angústia pode ser real (*medo*), a qual corresponde, no computador, à *confiança* que se tem na capacidade de obtenção de uma resposta; *neurótica* (que os desejos do Id prevaleçam sobre os dados da realidade), que pode ser expressa numa modelagem difusa que traduza a incerteza se a ação a ser tomada vai corresponder aquela mais indicada pelo processamento (lógica) ou não; ou *moral*, quando há conflito entre os desejos passados pelo processador primário e as restrições colocadas no Espaço de Restrições pelo superego ou existentes no mundo real.

O subsistema de processamento secundário, associado ao Ego, domina a capacidade de síntese, a motricidade e organiza a simbolização. É ele que processa as informações vindas do universo à sua volta e tenta conciliar os dados do real com os desejos do Id e as restrições do Superego. O desenho abaixo ilustra a estrutura do Ego em sua contínua busca por uma adaptação ao meio ambiente. De certa forma funciona como um computador que captura as perturbações originadas pelo mundo exterior e negocia essas necessidades com os desejos expressos pelo Id; processador primário, tentando, ainda, atender aos princípios éticos que ficam registrados no espaço de restrições. A angústia é o estado emocional normal associado ao Ego. É a angústia que o move para a ação.

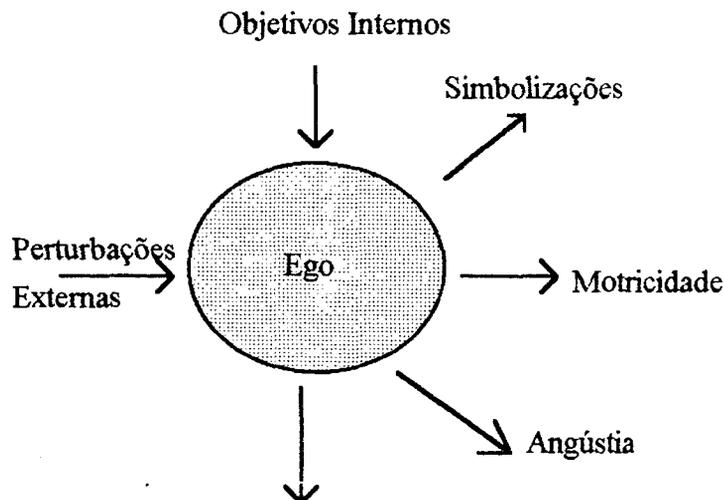


Figura 10.2 Sistema de Processamento Secundário

### ☐ Espaço de restrições

O superego é o responsável pela estrutura interna dos valores morais, ou seja, pela internalização das normas referentes ao que é moralmente proibido e o que é valorizado e deve ser ativamente buscado. Definimos como espaço de restrições o conjunto de proibições oriundas do superego e aquelas provenientes da realidade.

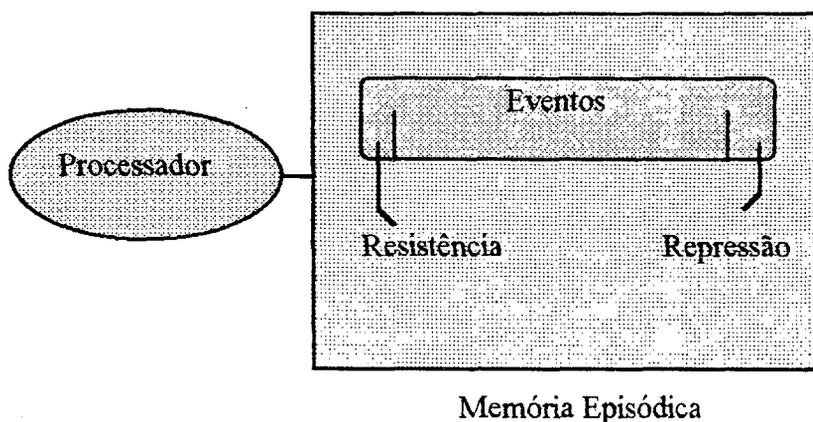


Figura 10.3 Modelo para o Espaço de Restrições

Essas proibições não são dados a priori mas devem ser construídas, ou seja, vão depender da história psicológica da entidade *autopoietica* que se pretende modelar.

Para isso o superego é modelado como um processador associado a uma memória episódica. A cada evento traumático registrado no espaço de restrições associa-se uma "resistência" que mede a força que mantém esse evento no inconsciente, impedindo-o de se tornar consciente e uma "repressão" que mede a força exercida para contrabalançar aquela exercida pelo trauma para se tornar consciente, ou seja, a força que nega à consciência o acesso à informação traumática.

### 10.3 Editor de mundos

Existe uma 'classe geral' que chamaremos de universo que é constituído por um determinado mundo e as entidades que nele habitam. Chamamos de sistema ao conjunto dessas entidades as quais podem ser sistemas *autopoieticos* de menor ou maior ordem, que se caracterizam por apresentar individualidade. Em um universo habitado por quatro unidades, por exemplo, temos  ${}^1C_4$  quatro sistemas *autopoieticos* de primeira ordem,  ${}^2C_4$ , dez sistemas *autopoieticos* de segunda ordem, etc.

Para simular as perturbações externas a um organismo seria necessário modelar todo o meio ambiente dentro do qual o mesmo exerce sua *autopoiesis*. Essa afirmação sugere a utilização de robôs capazes de capturar toda a imensa variedade de distúrbios energéticos aos quais estamos sujeitos. A construção de tais robôs, como partes de máquinas mais poderosas às quais estariam ligados pelos meios de comunicação, é factível dentro da atual tecnologia.

Para fins de simulação de ambientes menos ricos, no entanto, como fábricas, consultórios médicos, etc., dentro dos quais pretendemos estudar e fazer previsões sobre comportamentos, modelos de mundo virtuais permitem uma representação suficiente.

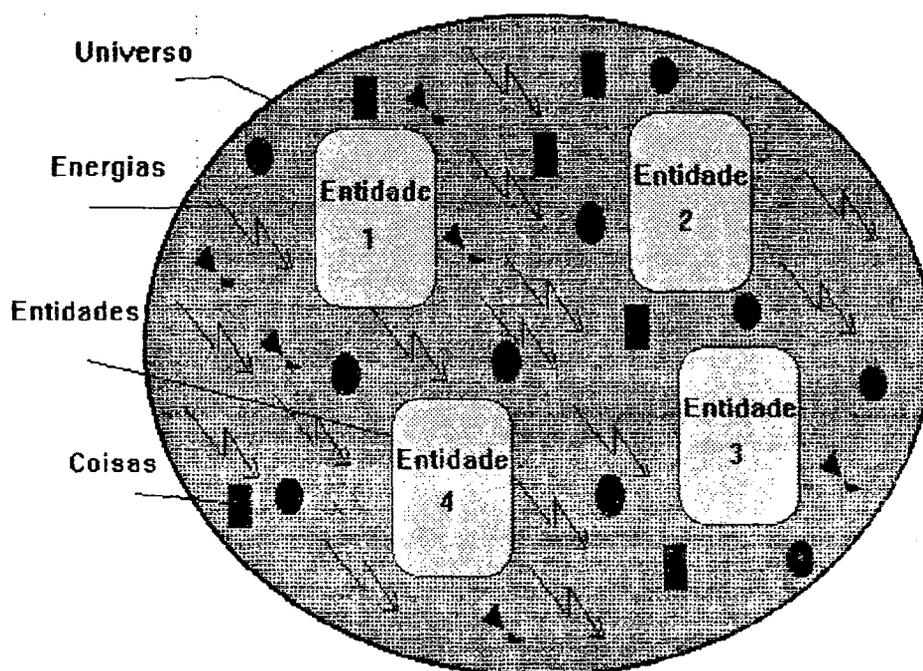


Figura 10.4 Editor de mundos

#### 10.4 Subsistema de processamento primário

O subsistema de processamento primário não é o único a gerar perturbações internas que devem ser compensadas e que impulsionam uma entidade *autopoietica* a estados de equilíbrios majorantes, como definido por Piaget. Perturbações internas e externas também ocorrem dentro do subsistema de processamento secundário, como veremos adiante, que resultam no mesmo efeito.

O que caracteriza esse subsistema, no entanto, é o seu caráter de regulador das atividades do organismo dentro de uma orientação para a obtenção do prazer que é definido, dentro do modelo, como uma medida do sucesso em satisfazer esquemas do tipo *<desejos : objetivos dos desejos>* associada a cada um desses esquemas e que é atualizada a cada vez que os mesmos são disparados e um retorno positivo ou negativo é obtido.

O produto desse processamento são mensagens passadas ao subsistema de processamento secundário que definem os objetivos a serem perseguidos pelo organismo, as prioridades entre estas tarefas, o tempo a passar, esforço a fornecer e, também, a decisão pelo abandono de determinado objetivo.

A criança nasce com um conjunto inicial de reflexos que a pediatria divide em reflexos alimentares, reflexos posturais e reflexos defensivos. Esses são os mecanismos de defesa básicos herdados pela criança, geneticamente, que são representados, no nosso modelo, por esquemas inatos dentro do *domínio cognitivo da dimensão física do organismo*<sup>1</sup>. pertencendo ao subsistema de processamento secundário na forma *<contexto: reflexo: resultado>*.

Os reflexos alimentares, por estarem associados à fase oral do desenvolvimento afetivo, estão também registrados no subsistema de processamento primário dentro de esquemas básicos do tipo *<desejo, objetivos do desejo>* e, dentro do subsistema de processamento secundário dentro do *domínio cognitivo da dimensão afetiva*, sob a forma *<objeto do desejo, ação, resultado>*.

O subsistema de processamento primário elege um esquema utilizando, como único critério, a obtenção de prazer, e passa uma mensagem para o subsistema de processamento secundário que vai disparar diversos esquemas capazes de alcançar o resultado pretendido.

$$\text{mensagem } (P \rightarrow S) = \{\text{objetivo, prioridade, esforço, tempo, critério de abandono}\}$$

O subsistema de processamento secundário realimenta o processador primário com o resultado obtido que vai ser assimilado ou acomodado, gerando modificações nas tabelas de valores associados aos esquemas envolvidos ou gerando novos esquemas.

$$\text{mensagem } (S \rightarrow P) = \{\text{objetivo, resultado, esforço efetuado, tempo gasto}\}$$

<sup>1</sup>Conforme definido em 5.1.4

A cada um dos esquemas existentes no processador primário está associado, além de uma medida de prazer, um quantificador e um temporizador que diz, por exemplo, que se a criança mamar menos do que uma determinada quantidade ainda sentirá fome e que, mesmo saciada essa fome, esse desejo será reativado após um tempo 't', dentro de uma equação matemática não linear capaz de ser modificada em função da história afetiva do indivíduo (quando me apaixono perco a fome).

Em essência esses desejos são aquilo que denominaremos, daqui por diante, por '*fomes*'. Essas *fomes* como constatado nos estudos relativos a teoria de motivação sofrem variações quantitativas e qualitativas.

Um organismo está sempre em interação com o seu meio ambiente (até a não ação é uma forma de transação, como defendido por Hegel). Podemos dizer que o que nos move são essas *fomes*, não somente aquela relativa aos alimentos que respondem pela obtenção dos aminoácidos necessários, mas a outras que, ainda que ignoradas, são também indispensáveis à sustentação do 'ser'. Ativando a dimensão física temos <*fome de alimentos*>, <*fome de segurança*>, etc. Ativando a dimensão afetiva temos <*fome de estímulos*> (carícias), contato (com outras entidades *autopoiéticas*), estruturar o tempo; de sexo; etc.

Para a dimensão cognitiva temos a *fome por conhecimentos* e, finalmente, dentro da dimensão espiritual temos <*fome por religiosidade*>, algo que assegure a convicção de nossa transcendência.

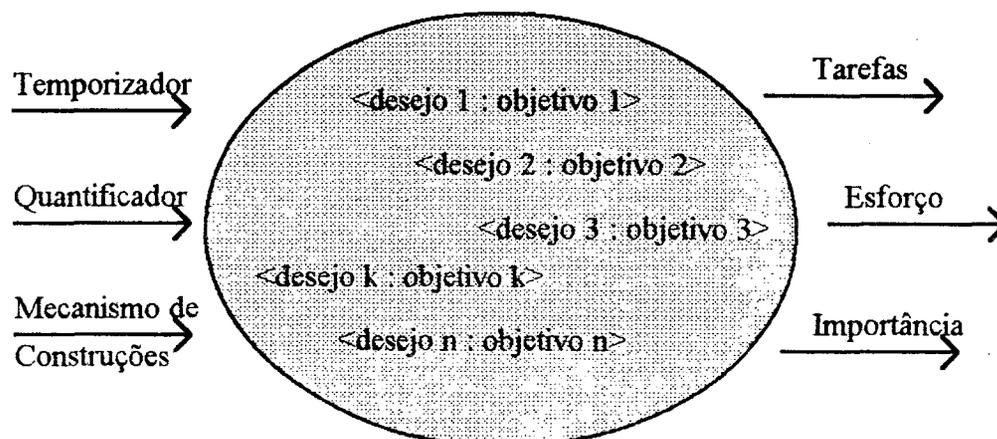


Figura 10.5 Subsistema de processamento primário

A falha do subsistema de processamento secundário em satisfazer as necessidades do organismo realimentam o processador primário, mudando prioridades e provocando comportamentos não racionais, puramente instintivos, comandados pelo subsistema de processamento primário, agora suficientemente energizado (ou catexizado como diriam os psicólogos) para impor a sua vontade a todo o sistema. Isto é obtível em termos computacionais pela definição de limiares que ativariam disparadores.

Essas fomes são construídas e dependem de toda história ou ontogênese *autopolética*. Esquemas associadas a elas estão presentes nos dois subsistemas de processamento com a diferença de que, enquanto que no subsistema de processamento primário o papel exercido é o de regulador, no subsistema de processamento secundário esse papel passa a ser o de controlador e executor das tarefas.

Ao nascer temos apenas *<fome por alimentos>* e *<fome por carícias>*. Um mecanismo construtor deve ser capaz de mostrar como elaboramos nossos desejos e o que nos faz decidir que tal e qual objetivo seja capaz de satisfazê-los. Verticalmente construímos novos desejos e, horizontalmente, sofisticamos as descrições dos objetivos capazes de satisfazê-los. O mecanismo de equilíbrio, ainda aqui, deve ser capaz não só de gerar as estruturas observadas relativas ao psiquismo humano como outros mecanismos construtores mais sofisticados que entram em jogo dentro da ontogênese *autopolética* da entidade.

Segundo Inhelder (apud Fagundes, 1988, p. 7) as primeiras manifestações de atividade mental consistem em incorporar, isto é, assimilar elementos novos nas estruturas programadas hereditariamente. O seio é o primeiro objeto de ligação infantil. O reflexo de sucção é insto. Um toque realizado com o dedo no rosto da criança fará com que ela se volte para tentar sugar o objeto que a está tocando.

Os toques em outras regiões do corpo provocarão, com frequência, o mesmo reflexo. Nas etapas iniciais da vida a criança não é capaz, ainda, de construir símbolos. O mundo é introjetado pela boca. O conjunto de reflexos alimentares é o que vai permitir a obtenção da equilíbrio homeostática. Nesta fase sua 'fome' é fome mesmo, pelo alimento que a permitirá manter-se viva. O ato de mamar, de satisfazer a fome, é o primeiro prazer experimentado pela criança. O prazer oral é o primeiro que se estabelece

No subsistema de processamento primário temos, representando essa constatação feita pela equipe de Piaget, um esquema do tipo *<fome de alimento : saciar fome de alimento>*. Toda a vez que o temporizador disparar esse esquema uma mensagem será enviada ao subsistema de processamento secundário que, de posse das estruturas da fase sensorio motora, vai disparar esquemas do tipo: *<contexto: ação : resultado>* onde o contexto é o 'estar com fome' e o resultado a ser alcançado é o de 'saciar a fome'. É em torno dos reflexos alimentares que se desenvolverá a busca pelo prazer.

Em outras palavras, em princípio, apenas os esquemas associados aos reflexos alimentares estão representados tanto no processador primário como no subsistema de processamento secundário devido a se constituir em um processo de regulação orientado para o prazer. Diante de um ruído forte os *reflexos de defesa* farão com que a criança se encolha e depois atire as pernas e braços para fora. Este grupo de reflexos, assim como os posturais, não tem a conotação de prazer apresentado pelos alimentares e, portanto, só estão representados no subsistema secundário de processamento..

Ao nascimento, a estrutura sensorial mais desenvolvida é a boca. É pela boca que se mobilizará a luta pela preservação do equilíbrio homeostático. É pela boca que a criança aprende a provar e a conhecer o mundo. O processador primário, resumidamente, pode ser representado por:

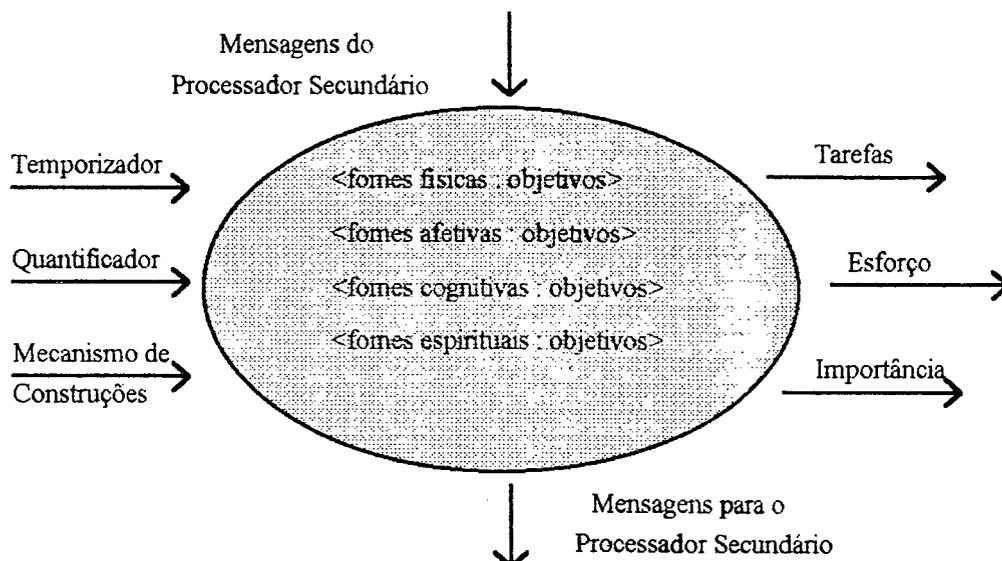


Figura 10.6 Relações entre os subsistemas de processamento primário e secundário

### 10.5 Modelo para o subsistema de processamento secundário

Em nosso modelo usamos os conceitos de dimensões e de domínios:

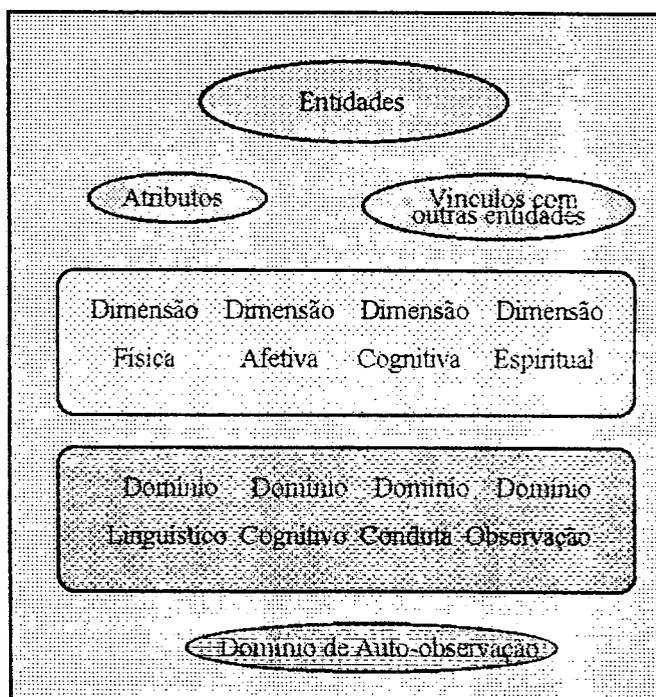


Figura 10.7 Estrutura de ego de uma entidade

### • Atributos e vínculos com outras entidades

Cada entidade possui, dentro de cada um desses domínios e dimensões, **atributos**, os quais podem agrupar-se:

◊ quanto à forma como se relacionam

Por sua semelhança, sua contigüidade, seu contraste, etc., determinando-se *vínculos estruturais* de relação ou associação e *vínculos funcionais* de posse ou de inferência.

◊ quanto à forma como são representados

Como **orais** (Fonema), **gráficos** (Grafema), **gestuais** (Querema) ou **escritos** (Monema ou Sintagma) ou por qualquer combinação dessas.

### • Domínio Cognitivo

*É o domínio de todas as interações em que um sistema autopoietico pode participar sem perder sua identidade, é dizer, o domínio de todas as trocas que pode sofrer ao compensar perturbações.*

O domínio cognitivo é o coração de toda a arquitetura. Em cada dimensão vai se expressar como sede dos mecanismos de construção sendo responsável por todas as acomodações a fatos novos ocorrendo dentro e fora do organismo. A figura abaixo representa a riqueza de representações existentes dentro desse domínio.

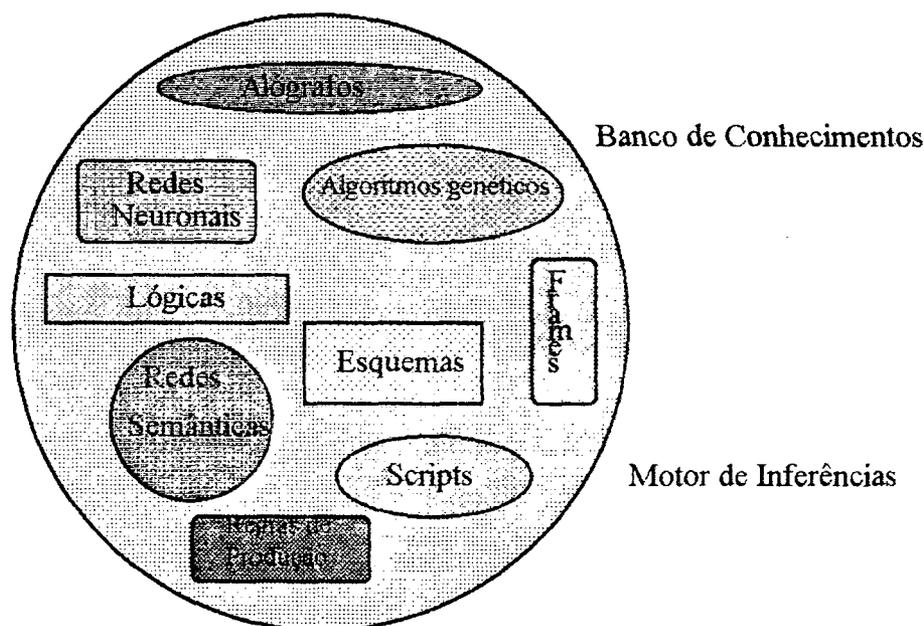


Figura 10.8 Conteúdos do Domínio Cognitivo

### ◦ Domínio Linguístico

É um campo consensual onde dois organismos acoplados se orientam reciprocamente em sua conduta, a qual fica internamente determinada por meio de interações que se vão especificando durante suas ontogêneses acopladas (Mecanismo de construção).

◦ As entradas são perturbações externas ou internas e, as saídas, as trocas internas que compensam essas perturbações, as quais podem ser *conservadoras*; ou *assimilações*, implicando em compensações que não requerem trocas nas variáveis mantidas constantes através de seus processos homeostáticos componentes e *inovadoras*; ou *acomodações*, que implicam em trocas na qualidade dessas variáveis. Enquanto o primeiro caso implica numa ontogênese conservadora, o segundo implica numa ontogênese que é, além disso, um processo de especificação de uma *autopoiésis* particular cuja determinação necessariamente depende tanto das limitações relativas à organização do sistema como numa história de interações.

◦ Quanto aos vínculos estruturais e funcionais que uma entidade *A* estabelece entre as coisas do mundo em que vive, quatro níveis podem ser detectados:

$A \rightarrow B$ ; *A* interage sobre *B* mas *B* não interage sobre *A*, ou seja, *B* é um elemento passivo do universo..

$A \leftrightarrow B$ ; *A* age sobre *B* que também age sobre *A*

$(A \leftrightarrow B) \rightarrow E$ ; *A* age sobre *B* que também pode agir sobre *A*, trocando informações sobre um elemento *E*, exterior à relação entre *A* e *B*.

$\{(A \leftrightarrow B) \rightarrow E\}$ ; *A* age sobre *B*, que também pode agir sobre *A*, trocando informações sobre um terceiro elemento *E*, interior à relação entre *A* e *B*, ou seja, *A*, *B* e *E* são parte de entidades *autopoiéticas* de maior ordem.

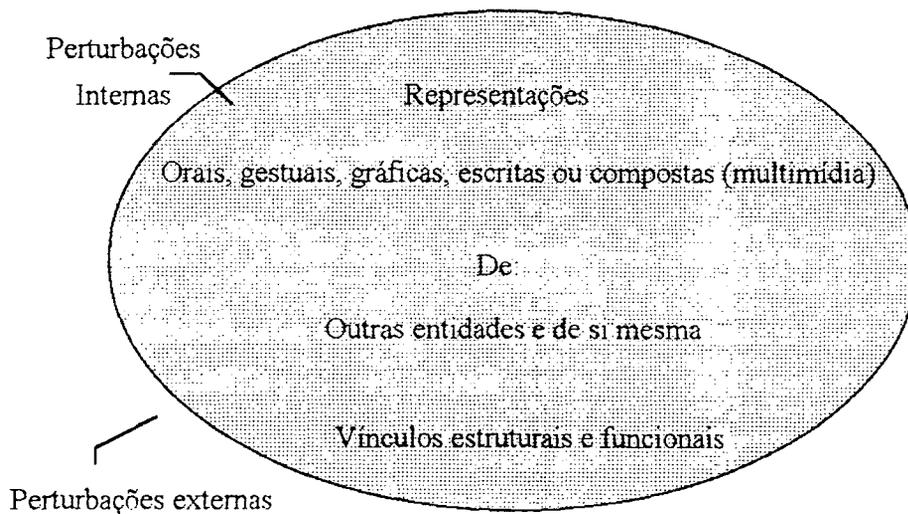


Figura 10.9 Domínio Linguístico

As representações existentes nesse domínio são similares às que se utilizam em hipermídia, se constituindo de sons, imagens, etc. A criança, no início de seu desenvolvimento possui, em seu banco de dados, todos os fonemas capazes de evoluir em alguma linguagem natural. Emoções são expressas por sons que ainda não são simbólicos mas que têm a riqueza constatada por estudos onde se verifica que, para cada situação a criança emite um som diferente.

O domínio linguístico nos seres humanos, por exemplo, corresponde ao mecanismo pelo qual codificamos um determinado estado interno ou externo em palavras. O raciocínio executado por este módulo é aquele denominado por raciocínio episódico. Raciocínio baseado na memória, ou raciocínio episódico, não usa regras, mas resolve os problemas pela referência direta à memória.

No domínio cognitivo o conhecimento está representado por esquemas, scripts, frames, bancos de conhecimento, regras de inferência, etc. No domínio linguístico, no caso de entidades *autopoiéticas* humanas, essa modelagem cognitiva é traduzida em termos de explicações, descrições, etc. que podem ser comunicadas ao mundo exterior ou simplesmente transmitidas em linguagem interna, mental, para si mesmo. Candidatos a representar esses conhecimentos são os diversos tipos de redes semânticas, incluindo-se aqui o emprego dos alógrafos.

Existe uma representação linguística para todo o conteúdo do domínio cognitivo de forma que, ao interagir o que o sistema de processamento executa é:

- Identificar o nível de troca.
- Se a troca for conservadora o objetivo é encontrar a representação linguística correspondente e disparar o módulo associado ao domínio de conduta para que o comportamento adequado a essa situação seja assumido.
- Se a troca for inovadora o objetivo é codificar as informações e alimentar com ela o domínio cognitivo que é o local, dentro dessa arquitetura responsável pelas acomodações.
- Produzir uma nova representação linguística correspondente ao resultado da acomodação.

#### ○ Domínio de observação

*Define-se como domínio de observação ao domínio das interações recorrentes com seus próprios estados. É, em princípio, infinito, porque não existe nenhum momento em que o sistema não esteja em situação de efetuar tal interação, a menos que perca sua autopoiésis.*

Representações são continuamente geradas traduzindo acomodações que são processadas dentro do domínio cognitivo, a cada vez que uma nova estrutura é construída e/ou que o sistema especialista produza uma nova descrição como resposta às diversas perturbações que pode sofrer a entidade *autopoiética*.

Desta forma, a cada nova perturbação, uma representação é acrescentada ao domínio linguístico a qual pode ser conflitante, redundante ou nova.

Cabe ao sistema observador analisar o conteúdo do domínio linguístico e processar os conflitos existentes passando mensagens ao domínio cognitivo que se constitui numa espécie de cérebro dentro da arquitetura e eliminar as redundâncias.

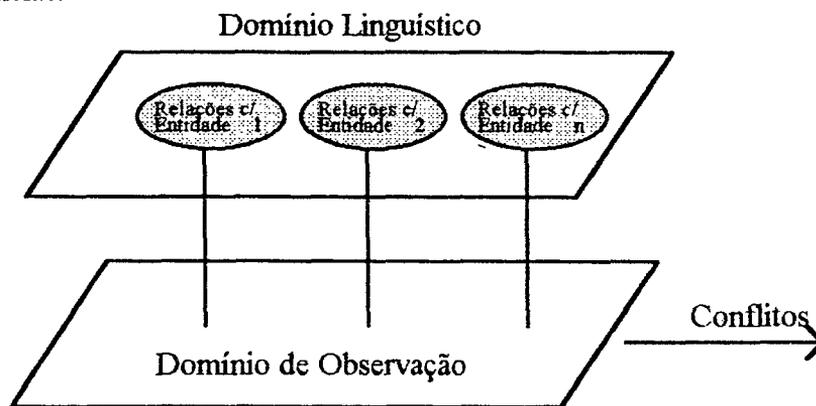


Figura 10.10 Domínio de Observação

#### Domínio de Auto-observação

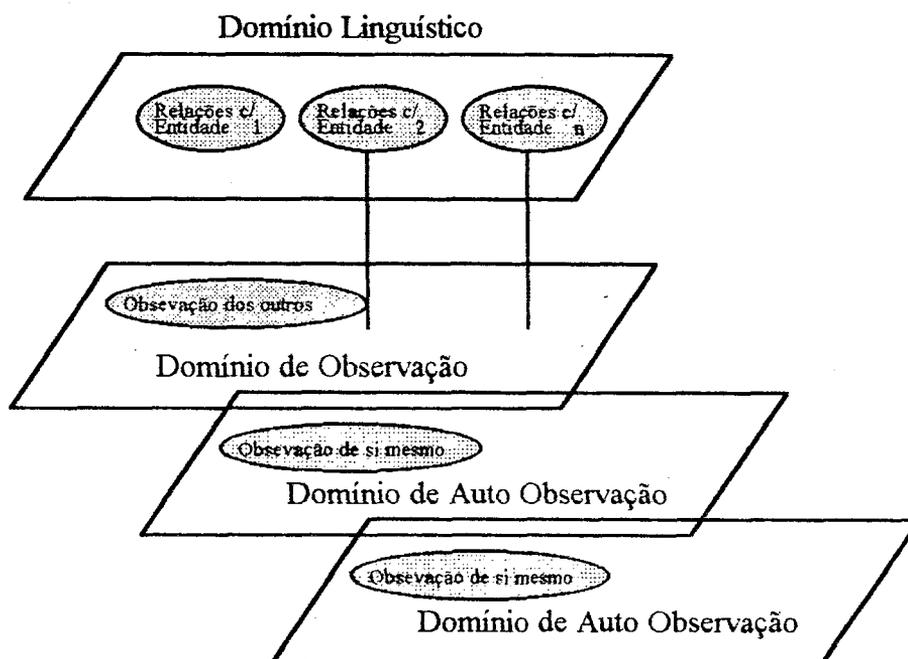


Figura 10.11 Domínio de Auto Observação

Um sistema vivo capaz de ser um observador pode interagir com seus próprios estados descritivos, que são descrições linguísticas dele mesmo. Se o faz em forma recursiva, gera um domínio de auto-descrições linguísticas no qual é um observador de si mesmo e um observador de sua observação e de sua auto-observação, de uma maneira interminável.

*Este domínio é chamado por Maturana e Varela (1972) de domínio de auto-observação, e a conduta auto-consciente é a conduta no domínio da auto-observação.*

### ☛ Domínio de conduta

O comportamento dos seres vivos pode ter três procedências: a) pode ser instintivo (ligado ao próprio funcionamento biológico); b) pode ser um automatismo aprendido (um hábito adquirido, um reflexo condicionado) e c) pode ser inteligente (fabricado pelo organismo quando se apresenta uma situação nova). É no domínio cognitivo que esquemas, frames, scripts, redes semânticas, etc. que se decide pelo comportamento a adotar diante de perturbações externas ou internas.

As saídas da máquina humana podem ser de três tipos, em virtude da função semiótica (capacidade de substituir alguma coisa por qualquer outra): a) motricidade; b) linguagem e c) pensamento, o qual pode ser *presentativo* (de origem sensorial e semiótico) ou procedural (que comanda a conduta).

Essas saídas ficam determinadas pelo processamento ao nível de domínio cognitivo que, diante de um contexto, decide pela ação que o levará ao resultado desejado. No caso dessa ação resultar em alguma atividade motora ou em uma forma de comunicação oral ou escrita cabe ao domínio de conduta processar essa ação de forma a expressar o comportamento associado.

O problema a resolver consiste pois em encontrar o procedimento adequado para a execução de uma determinada ação e o espaço de problemas é o próprio conteúdo da memória.

Construções de novos procedimentos e armazenagem desses novos procedimentos na memória de longo termo é tarefa do processamento dentro do domínio cognitivo.

#### 10.5.1 Arquitetura do subsistema de processamento secundário

Embora o módulo de comunicação com o mundo exterior corresponda ao domínio linguístico, é no módulo cognitivo que os conhecimentos são processados e as representações que vão compor o domínio linguístico são construídas. Da mesma forma o comportamento, expresso pelo domínio de conduta, resulta de um processamento cognitivo. Em outras palavras, o domínio linguístico é a porta de entrada para o universo exterior e o domínio de conduta se constitui na interface de saída com esse mesmo universo.

Ao estabelecer-se um processo de acoplamento (comunicação) entre duas entidades *autopoiéticas* de qualquer ordem, o receptor e o perceptor sofrem um processo de desequilíbrio dado que novas energias provenientes do 'real' precisam ser assimiladas, acomodadas ou rejeitadas.

Através dos mecanismos de cognição, uma entidade, utilizando a percepção (sentidos), o raciocínio (capacidade de produzir inferências), a intuição (criatividade) ou a experiência (repetição), 'conhece' essa realidade.

O processo cognitivo cria descrições; definições, proposições ou inferências, isto é informação acerca do estímulo que recebe e no qual se conjugam diferentes faculdades mentais tais como perceber, aprender e recordar.

Uma vez estabelecido, o processo de cognição determina o conhecimento, o qual pode ser definido como a totalidade de tudo aquilo que tenha sido percebido, raciocinado ou experimentado.

A capacidade de auto organização de sistemas *autopoiéticos*, na modelagem que estamos propondo, é caracterizada por (2.4.1):

- ☛ Apresentar diversos patamares hierárquicos. Cada um desses domínios se expressa, nas diferentes dimensões em que um organismo se manifesta, a sua *autopoiésis*
- ☛ Apresentar elevada redundância estrutural e funcional a qual é garantida pela utilização de diversas formas de representação que competem, a todo instante, para gerar comportamentos.
- ☛ Se constituir numa rede cibernética onde qualquer alteração introduzida no sistema (organismo) por um novo comportamento ocasionará desequilíbrios do tipo alfa (intra), beta (inter) ou gama (trans) nessa rede cibernética, dependendo do patamar de organização atingido.

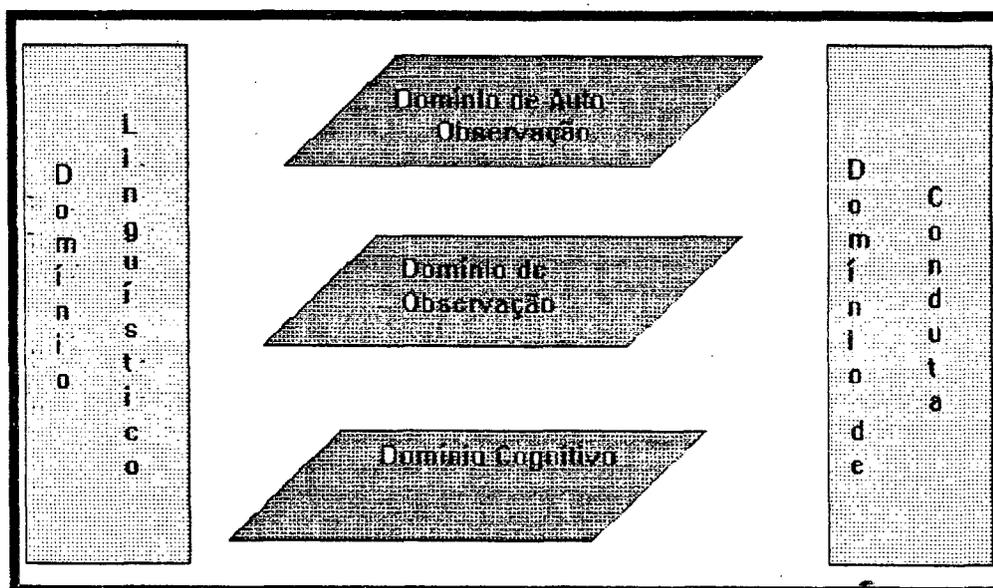


Figura 10.12 Arquitetura do subsistema secundário de processamento

Todo o processamento dentro do nível cognitivo tem por única finalidade preservar a '*autopoiesis*', ou seja:

☞ se constitua num sistema homeostático que tem sua própria organização como variável a manter constante. Essa organização está sendo especificada em termos de:

- \* relações estáticas entre elementos
- \* relações dinâmicas entre elementos
- \* relações estáticas entre processos
- \* relações dinâmicas entre processos

⊙ as relações de produção que definem o sistema *autopoietico*, ou seja, sua arquitetura e o conteúdo das memórias, são continuamente regeneradas pelos componentes que produzem. Perturbações conduzem a ações que tem por único objetivo acomodar o organismo as novas realidades que o cercam, garantindo a sua sobrevivência.

⊙ os processos se concatenam de forma a constituir e especificar uma unidade no espaço físico. Os diversos domínios e as diversas dimensões interagem constantemente formando o 'todo' computacional com seus elementos 'processadores, memória, frames, etc.' e os processos pelo qual esse organismo responde às perturbações do meio ambiente em que habita.

☞ demonstra autonomia ao subordinar todas as suas trocas com o meio à conservação de sua própria organização, independentemente de quão profundas sejam as demais transformações que podem sofrer durante o processo.

A evolução de tal sistema é função direta da história de vivências dentro do universo em que habita.

☞ realizam, portanto, um sistema capaz de exibir individualidade, mantendo, como um invariante, sua organização

O banco de dados único que suporta essa arquitetura computacional é constituído por um conjunto de dados analisados e organizados sob um determinado contexto e que satisfazem objetivos específicos, ou seja, se constituem num banco de informações.

Essas informações têm um conteúdo léxico, conjunto de signos utilizados (fonemas, morfemas, queremas, etc.); morfológico, estrutura dos símbolos utilizados para representar cada signo (lexemas e morfemas); sintático, que dá a função de cada signo na estrutura (sintagmas) e o semântico, ou significado de cada signo (semantemas) que é um para cada dimensão ou domínio componente da arquitetura.

## 10.6 Discussão quanto a construtividade do modelo

A construção de novos conceitos / procedimentos se suportam num processo de equilibração de estruturas sejam essas físicas, afetivas, cognitivas ou ligadas aos aspectos de transcendência, todas atuando de forma integrada, não fragmentária, numa abordagem holística. Essas estruturas são simuladas e seus mecanismos genéticos construídos dentro da idéia de equilíbrio majorante de Piaget. O Mecanismo de Equilibração fornece as regras de produção segundo as quais os símbolos são construídos, a partir da experiência sensorial. O Mecanismo de Equilibrações é a fonte das heurísticas e critérios de decisão que vão permitir a continuação de um desenvolvimento em que estruturas mais complexas como as diversas lógicas, frames, scripts, etc., habitantes do cérebro humano, serão construídas. Nossa hipótese de trabalho contempla, pois, o paradigma construtivista.

### 10.6.1 Dimensão física

Ao nascer, a criança é dotada de praticamente todos os sentidos e está biologicamente apta para experimentar a maioria das sensações. Da mesma forma, uma arquitetura que pretenda simular o ser humano deve ser tal que, ainda que esteja por construir, permita que se dê essa construção, ou seja, deve ser dotada de mecanismos básicos capazes de construir outros mecanismos, capazes de construir outros mecanismos, etc., de uma forma recursiva.

Os órgãos dos sentidos transmitem ao homem informações do mundo exterior, exteroceptores, e do seu próprio corpo, proprioceptores. O sentido da dor, dos músculos, o seio carotídeo como receptor da pressão sanguínea e os órgãos terminais dos tendões, indicadores da tensão muscular, são exemplos de sentidos proprioceptores.

O organismo humano dispõe de cerca de um bilhão de receptores. De cada órgão dos sentidos se originam sequências de impulsos que passam por vários milhões de condutos nervosos em direção ao sistema nervoso central. Como cada um desses condutos é capaz de transmitir informações a cerca de 10 a 100 bits/seg. de modo que a entrada máxima de informações é de 10 a 100 milhões de bits por segundo. Desse total apenas uma ínfima fração, cerca de 25 bits por segundo, atinge a consciência.

A tabela abaixo, retirada de Steinbuch (1973), resume as características principais dos órgãos sensoriais receptores de estímulos externos. O quadro proporcionado por essas entradas é incompleto. Não existe nenhum órgão dos sentidos que permita perceber a presença de monóxido de carbono, de irradiações radiativas ou de campos magnéticos. A pequena parcela do 'real' ao qual temos acesso só pode ser complementada com instrumentos que acessem outras regiões do espectro ou outras peculiaridades químicas para as quais não possuímos nenhum mecanismo natural de detecção.

Sentido	Visão	Audição	Pressão e Tato	Calor e frio	Olfato	Paladar
Estímulos adequados	Oscilações eletromagnéticas de longitude de onda 380 - 760 nm	Oscilações mecânicas 16 - 16 000 Hz	Deformação da pele por forças mecânicas	Variações de temperatura	Substâncias químicas	Substâncias químicas
Localização	Olho (retina)	Ouvido (membrana basal)	Epiderme	Epiderme	Cavidade nasal	Língua, cavidade bucal
Número de receptores	$10^8$ $10^7$ cones, visão diurna, visão de cores $10^8$ bastonetes, visão noturna pontos $4 \cdot 10^5$ pontos diferentes da imagem	$1 \cdot 10^4 \dots 3 \cdot 10^4$ células capilares	$5 \cdot 10^5$	$10^4$ receptores de calor $10^5$ receptores de frio	$10^7$	$10^7$
Número de vias nervosas do Sistema Nervoso Central	$1 \cdot 10^6 \dots 2 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^4 \dots 2 \cdot 10^4$	$10^4$		$2 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$
Capacidade de informação (bit/seg)	$3 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^4 \dots 5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^3$	10 ... 100	10

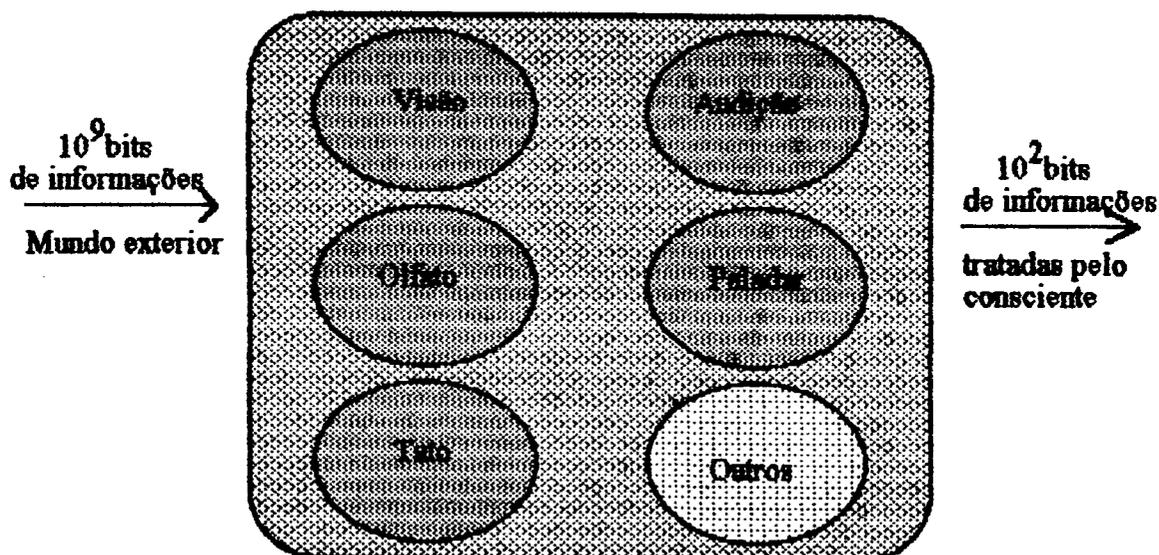


Figura 10.13 Processamento das informações vindas do mundo exterior

As reações conscientes são, portanto, respostas à limitada porção do universo 'real' ao qual temos acesso. Estas reações são conduzidas através de vários milhões de condutos nervosos até os efectores (músculos e, em parte, glândulas). Este fluxo de informações é calculado em cerca de 10 milhões de bits por segundo.

A máquina deve possuir dispositivos que a permitam ver, ouvir, cheirar, ter sensibilidade a dor, ao tato e às mudanças de posição. Por simplicidade pode-se definir que o sentido do paladar também esteja presente no 'nascimento' da máquina.

Toda a tecnologia necessária para dotar máquinas com esses dispositivos já é existente, sendo necessário a construção, por software de dispositivos de reconhecimento capazes de associar às diversas informações provenientes do universo, padrões armazenáveis na memória que possam ser acessados e processados pelos diversos subsistemas de processamento.

Esse tratamento é feito na dimensão física da entidade *autopoietica*, dentro do *domínio cognitivo*, o qual deve reproduzir a capacidade humana de filtrar as informações provenientes do 'real', definindo-se uma memória consciente e uma memória inconsciente.

Ambas as memórias são melhor representadas por redes semânticas, pelo fato das mesmas serem naturalmente associativas, permitindo uma representação gráfica. O 'hardware' adequado para captar as informações do mundo são os diferentes tipos de redes neuronais difusas, que podem ser construídas a partir dessas representações semânticas. A arquitetura ideal para o processamento dentro do domínio cognitivo é a mostrada na figura abaixo:

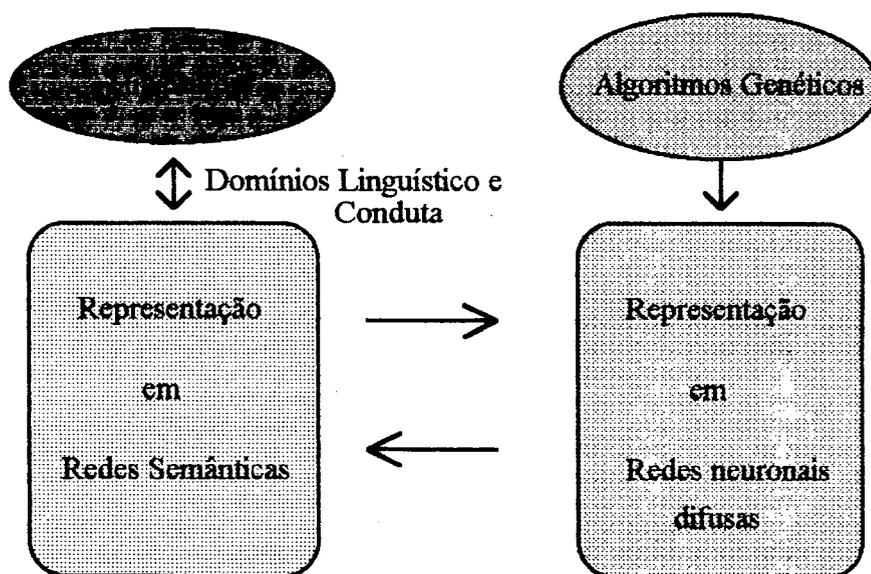
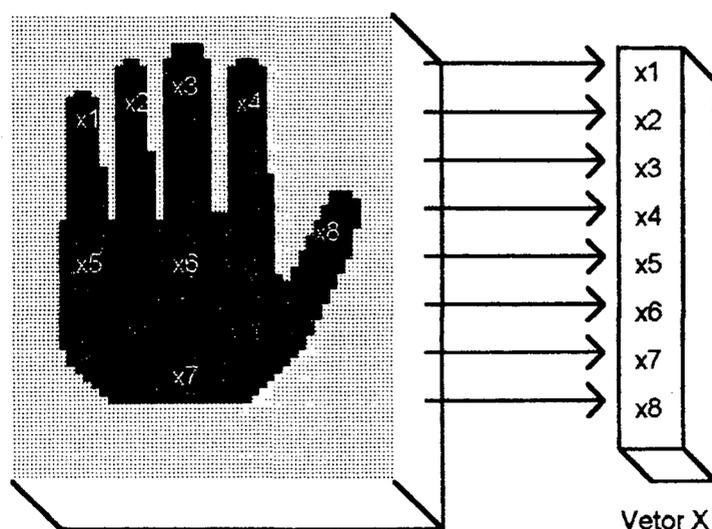


Figura 10.14 Arquitetura do domínio cognitivo

Os dados do mundo são representados em redes semânticas, em dois níveis: Uma rede **semântica intensional**, envolvendo classes de objetos e relações primitivas, como *Hipóteses*, *Evidências*, *Evidência então hipótese*; e uma **rede semântica extensional** onde essas classes e relações são instanciadas; *Hipótese*, *Scooby é uma instância de Cachorro*; *Late é uma instância de Evidência*, *Late então Cachorro*.

Redes semânticas são automaticamente convertidas em redes neuronais e vice versa, através de um algoritmo de conversão, de forma que existem sempre duas representações do mundo; uma em redes semânticas e outra em redes neuronais sendo ambas automaticamente atualizadas em função de modificações em qualquer uma dela. Os algoritmos genéticos são empregados de duas formas distintas; para buscar os pesos necessários ao treinamento da rede, expansão horizontal, e para ativar um processo de criação de novos nós, expansão vertical, que permitam uma construção. Nesse ponto foge-se ao paralelismo entre o hardware humano, no qual o número de neurônios é limitado ao nascimento, e o mecânico.

As informações colhidas pelo hardware sensorial, seguindo o proposto por Wazlawick (1993), vão formar um vetor  $X$ . É através desse vetor  $X$  que a entidade *autopoiética* tira suas impressões do mundo. Por exemplo, se a representação corresponde a terminações nervosas de uma mão, então cada valor real representa o estado de um nervo específico:



*Figura 10.15: Representação Esquemática das Ligações entre o Mundo Físico e o Agente com a Interface de um Vetor de números reais.*

De forma a exemplificar a generalidade da representação proposta por Wazlawick cada terminal de entrada poderia corresponder a um conceito mais complexo, como cor, tamanho, peso, etc, podendo ser aplicado diretamente aos observáveis. A partir desse vetor de entrada, um processamento paralelo é efetuado dentro de diferentes domínios. Tenta-se um raciocínio episódico pelo qual recorre-se aos grafos de conhecimento existentes no domínio linguístico que são construídos a partir de uma tradução das redes semânticas existentes no domínio cognitivo em arquivos multimídia.

No domínio cognitivo 'conhecemos' as coisas, ou seja, temos os fatos, as crenças que temos em relação aos fatos e as justificativas. No domínio linguístico temos representações, grafos de conhecimento, construídos a partir das coisas que conhecemos e outras representações auto-associativas.

Para cada evento no mundo construímos uma representação e a registramos no domínio linguístico. Diante de um fato novo busca-se uma assimilação ao mesmo tempo que cálculos são efetuados no domínio cognitivo. Mensagens são trocadas funcionando o domínio cognitivo, em caso de divergência, como supervisor da aprendizagem e revisão da rede neuronal linguística. O domínio linguístico é a sede do raciocínio episódico, dos automatismos perceptivos.

Quanto ao comportamento, ou seja, as ações que a criança é capaz de efetuar diante de um determinado contexto sabemos que, ao nascer, a criança é capaz de chorar ante qualquer tipo de desconforto, tossir, espirrar, vomitar, sugar, virar para o lado quando sua face é estimulada. Como comportamentos reflexos básicos citamos: o de sucção; o de preensão; o andar quando se segura o bebê numa posição ereta e o nadar. Estes dois últimos desaparecem, enquanto comportamento reflexo, com 8 semanas e 6 meses, respectivamente, voltando a aparecer mais tarde como comportamento voluntário.

Esse tratamento é feito na entidade *autopoietica*, dentro do domínio de conduta, de forma similar ao que ocorre na interface entre o domínio cognitivo e o linguístico..

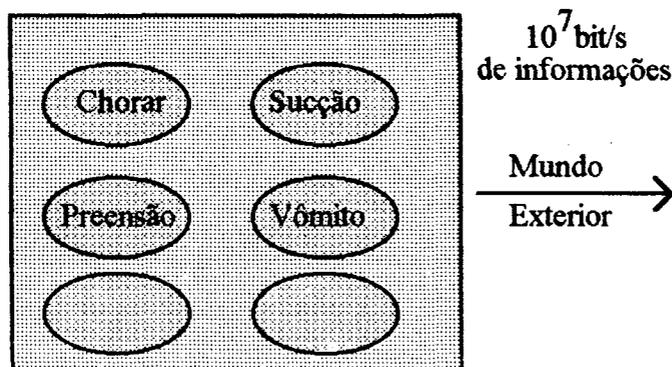


Figura 10.16 Comportamentos inatos

A partir dos reflexos inatos as diversas habilidades físicas são construídas inicialmente no sentido de promover o conhecimento do próprio corpo. A medida que o bebê se explora está formando um esquema de si próprio, um eu corporal. O caminho que vai do egocentrismo à descentralização passa pela compreensão cada vez maior das coisas do mundo, desviando a atenção da criança, de si mesma, para o outro.

De forma a representar as ações tomadas pelo indivíduo seguimos as idéias de Wazlawick, empregando um vetor  $Y$  que corresponde aos terminais que ativam movimentos. Estes movimentos podem consistir desde a ativação de nervos individuais, até a execução de movimentos complexos, como por exemplo, agarrar um copo. O nível de representação utilizado depende novamente da aplicação do modelo.

*O vetor de efectores atua diretamente sobre o meio ambiente. Cada vez que um novo valor é colocado neste vetor, o movimento correspondente é executado. Por exemplo, se cada valor individual representa o estado de um músculo particular, o valor 0.0 pode se referir ao estado em que o músculo está completamente relaxado e o valor 1.0 pode se referir ao estado em que o músculo está completamente contraído. (Wazlawick, 1993)*

O nosso 'robô' deve ser dotado de articulações de forma que o comportamento da criança pode ser simulado pela fase de aprendizagem de como acionar os diversos motores conjugados às diferentes articulações para a produção de movimentos harmônicos.

Em síntese, quando a criança nasce, já dispõe de todo o hardware perceptivo e comportamental de forma que é capaz de construir as representações associadas aos vetores X e Y por assimilação das coisas do mundo. O tratamento inicial é feito em paralelo dentro dos domínios cognitivo, linguístico e de conduta, desenvolvendo-se, desde cedo, os diferentes tipos de raciocínio associados a esses domínios. O mecanismo de equilíbrio vai construindo esquemas sensório motores, do tipo <contexto: ação: resultado> que podem ser traduzidos sob a forma de redes semânticas as quais, inicialmente, são puramente extensionais, treinando-se redes neuronais que vão se ajustando às coisas do mundo. A cada fato novo cria-se representações dentro do domínio linguístico e procedimentos comportamentais dentro do domínio de conduta sem se preocupar com conflitos ou contradições. Mensagens são enviadas ao domínio de observação que, em caso de conflito, vai utilizar os esquemas cognitivos como máquinas de ensino que forçarão às redes neuronais a se ajustarem. A preocupação não é com a coerência das diversas representações dentro de cada domínio, mas com a coerência da representação do mesmo evento entre diferentes domínios.

A cada nova construção de um vetor X, o mesmo é comparada com as representações existentes. Se a situação é idêntica<sup>1</sup> a alguma experimentada anteriormente, o próprio processamento dentro do domínio linguístico executa o procedimento comportamental correspondente dentro do domínio de conduta acionando as estruturas correspondentes. Caso contrário de novo atuam os mecanismos de equilíbrio associados ao domínio cognitivo construindo não só novos esquemas como também novas representações e procedimentos.

O desenvolvimento motor depende da maturação de certos tecidos nervosos, aumento em tamanho e complexidade do sistema nervoso central, crescimento de ossos e músculos. Em nossa metáfora computacional esse papel é desempenhado, inicialmente, pelo domínio de observação e, posteriormente, pelo domínio de auto observação dentro ainda da dimensão física que verifica a elaboração ou não das construções necessárias.

<sup>1</sup>Pode-se usar aqui o critério de similaridade escolhido por Wazlawick (4.3)

O domínio de observação testa o conteúdo dos domínios linguístico, cognitivo e de conduta em busca de inconsistências, conflitos ou contradições, gerando perturbações que devem ser processadas e resolvidas. O domínio de auto observação, de forma recursiva, executa o mesmo papel no que tange as representações, esquemas e procedimentos que a máquina *autopoiética* constrói sobre si mesma.

Aparentemente esses domínios só vêm a atuar bem mais tarde e não temos a menor idéia de como esse mecanismo é construído, se é inato ou não. Para efeitos de modelagem estamos considerando que sejam mecanismos inatos. Apontamos para a necessidade de estudos específicos quanto a ontogênese dos mesmos e consideramos nossa abordagem uma aproximação grosseira do que deva ser a realidade da ontogênese dessas estruturas.

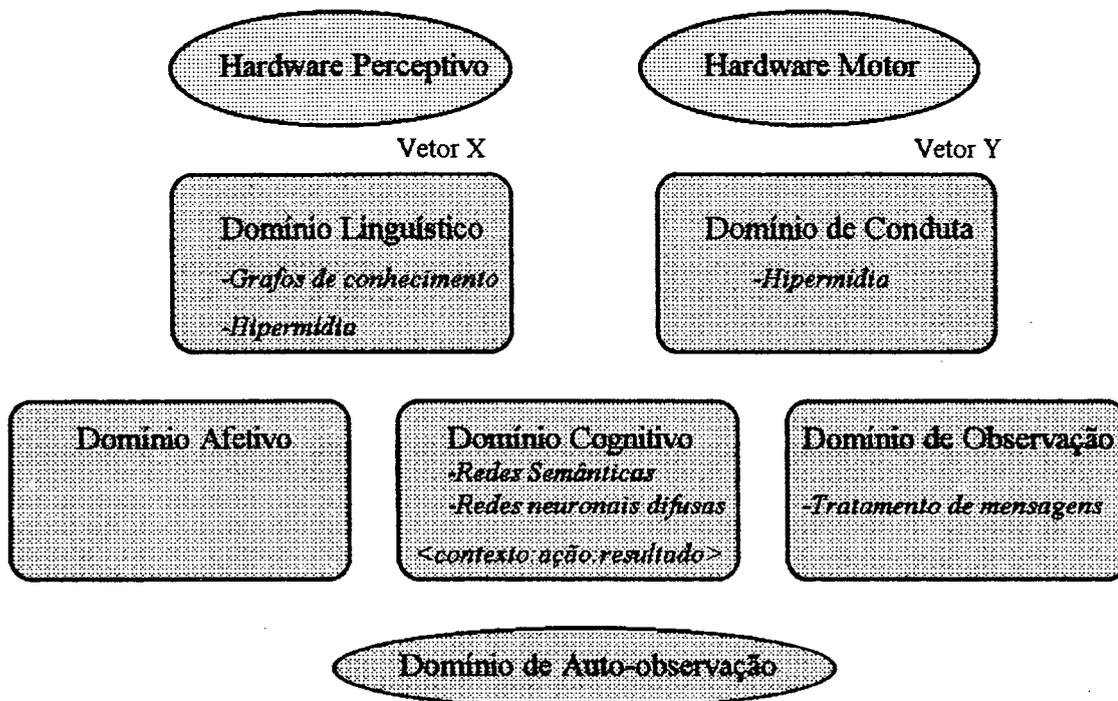


Figura 10.17: Quadro negro relativo à dimensão física

A dominância lateral já está estabilizada aos 6 anos de idade mas a transposição para o outro e para terceiros só será atingida por volta dos 8 anos. Com o domínio da segmentação, da lateralidade e dos esquemas espaço-temporais, o esquema corporal vai-se aperfeiçoando até que, entre os 10 e 12 anos possa estabelecer uma relação perfeita com o mundo.

O presente modelo permite a simulação desse processo abrindo a perspectiva de que da interação entre teoria e simulação computacional novos 'insights' possam contribuir para a compreensão que temos de nós mesmos, ou seja, ativando o nosso domínio de auto-observação.

### 10.6.2 Dimensão cognitiva

A dimensão cognitiva é o coração de toda a arquitetura proposta. Dentro da Lógica Epistêmica Clássica, conhecemos um fato quando este ocorre, acreditamos nele e possuímos uma justificativa. Compreender é construir representações. A criança não compreende a imagem que vê numa televisão. O fato existe e, por fazer parte de seu cotidiano, ela acredita nele mas, só na fase pré-operacional é que vai construir uma explicação, ainda que fantasiosa e incorreta, para o fato de que pessoas falam e se movem numa pequena tela da sala de estar da casa da mamãe. A tabela abaixo resume o conteúdo dos diferentes domínios associados à esta dimensão. Os domínios de observação e auto-observação são procedimentos lógicos construídos ao longo do processo de desenvolvimento.

Período	Estágio	Mecanismo	Domínio Cognitivo	Domínio Linguístico	Domínio de Conduta
	Estágio 1	Construtor assimilação funcional generalizadora recognitiva	<contexto: reflexo: resultado>	Espaços visuais, buciais, etc.	Atos reflexos
	Estágio 2	acomodação		Aprox. dos espaços	
Sensório Motor	Estágio 3	distinção entre fins e meios			
	Estágio 4	descoberta por acidente			
	Estágio 5	tentativa e erro			
	Estágio 6	interiorização			
	Estágio 7		Esquemas simbólicos	Linguagem egocêntrica	
Pré Operacional	Estágio 8	raciocínio transdutivo			
	Estágio 9	Ligação entre estados e transformação Agrupamentos	Esquemas conceituais concretos	Linguagem socializada	
	Estágio 10	jogo de regras reversibilidade			
Operações Concretas	Estágio 11				
	Estágio 12	Objetos encaixam- se, hipóteses combinam-se			
Operações Formais	Estágio 13	Grupo INRC Lógica de Predicados			

### 10.6.3 Dimensão afetiva

Não pretendemos, aqui, discutir as diversas teorias do afeto. Nossa intenção é demonstrar que, qualquer que seja esta teoria, benefícios são obtidos pela simulação da mesma em computador. Mais do que isso, acreditamos que uma modelagem do ser humano se centra, necessariamente, em torno do aspecto afetivo. Para Piaget é a energia afetiva, que Freud chamou de libido, a força que impulsiona o desenvolvimento.

Em nosso modelo a sensação de desorganização interna é dada, nesta dimensão, pelos domínios de observação, *há algo errado na nossa representação do mundo*, de auto observação, *há algo errado na forma como vemos a nós mesmos*. e pelo insucesso em se satisfazer as mensagens enviadas pelo processador primário sob a forma de <desejos : satisfação de desejos>. Isto é detetado pela inconsistência ou conflito, nas diversas dimensões, das representações que mantemos dentro dos domínios linguístico, cognitivo, de conduta e, de forma recursiva, do próprio domínio afetivo.

Inhelder (apud Fagundes, 1988, p.7) ao estudar com Piaget o processo de gênese das operações do pensamento observa uma assimilação que se traduz em julgamentos contraditórios e mesmo incompatíveis. É a partir do desequilíbrio entre tantas descrições da realidade que a criança, através de desequilíbrios, regulações compensatórias e auto-regulações sucessivas constroi algo novo que se traduz num novo estado de equilíbrio.

A incapacidade de reorganizar-se é um grande fator de desregulação do fluxo de energia por manter o organismo em estado de desequilíbrio (frustração). Essa possibilidade, a de não se atingir um estado de equilíbrio, na verdade não contraria os princípios estabelecidos por Piaget (2.3.3.2.1) que se referem ao desenvolvimento normal e não a patologias. Um modelo do ser humano deve contemplar não só essa possibilidade, o que permitiria simular tais patologias, como também a de que, a partir da incorporação dessa possibilidade ao modelo, duas novas perspectivas se abrem; a de que se retorne ao estado original associado a frustração do fracasso e a de que esse desequilíbrio permaneça como uma gestalt aberta.

A fonte original da energia psíquica que Freud chamou de libido, se orienta sempre para a obtenção de prazer e sofre progressivas organizações durante o desenvolvimento. Cada nova organização da libido é apoiada numa zona erógena corporal, caracterizando uma fase de desenvolvimento. O subsistema de processamento primário atua mais fortemente através da sua ligação com essa dimensão. É ele que arquiva todas as informações referentes às coisas que nos dão prazer e os objetivos genéricos que devem ser atingidos para se obter esse prazer.

Esse prazer deve ser 'conhecido' e 'sentido'. Daí a ligação direta do subsistema de processamento primário com o domínio cognitivo da dimensão afetiva.

A fase oral é definida por Freud como a etapa de desenvolvimento onde a libido se organiza sob o primado da zona erógena oral, em que o modelo de relação é o da incorporação e a fantasia é a de que estar bem consiste em colocar dentro de si os objetos do mundo externo que são bons. O mundo interno de suas vivências é o seu mundo de fantasias.

Dentro do domínio cognitivo temos esquemas primitivos do tipo *<branco : reflexo : branco>* que são aplicados às coisas do mundo. A criança suga tudo que lhe chega a boca esperando, com isso, obter prazer. Com isso vai montando esquemas sensório-motores os quais, nem sempre, resultam naquilo que esperava. Desequilíbrios são então provocados que disparam o mecanismo de equilíbrio o qual vai tornando mais discriminatória a ação no mundo.

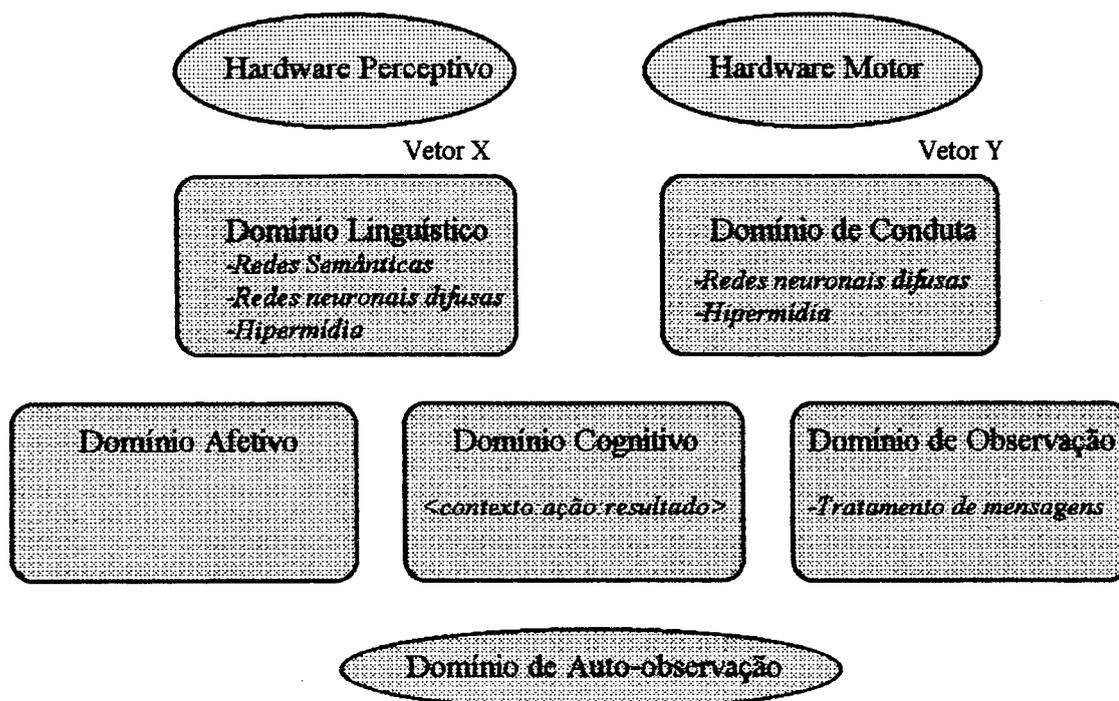


Figura 10.18: Quadro negro relativo à dimensão afetiva

A fixação na fase oral é chamada de esquizofrenia. O esquizofrênico não funciona num nível físico. Está 'desconectado' do mundo exterior. Toda a sua energia se dirige para o domínio afetivo onde vive e revive suas fantasias e pesadelos. O sucesso ou insucesso da criança em 'incorporar o mudo' vai definir o seu comportamento afetivo. Os esquemas *<branco: reflexo: branco>* vão sendo preenchidos, nesta fase do desenvolvimento por construções do tipo *<algo a botar na boca: sugar: prazer ou desprazer obtido>* realimentando o subsistema primário de processamento.

Ao contexto 'presença da mãe' a criança vai construindo esquemas dentro do domínio cognitivo. Qualquer objeto ou entidade existente no mundo é capaz de gerar diferentes representações, esquemas, procedimentos, em todas as dimensões.

A imagem da mãe tem uma (ou mais) representações física, afetiva, cognitiva e espiritual às quais estão associadas esquemas, frames, scripts, capazes de disparar procedimentos. Nesta fase, no entanto, apenas esquemas sensorio motores são construídos.

O domínio de observação, quando se vê diante de um objeto ou imagem que apresenta características simultaneamente de prazer e ódio, aciona o mecanismo de equilíbrio que divide este objeto, ou imagem, em dois, um bom e outro mau. Em outras palavras, representações conflitantes existentes no domínio linguístico são detectadas dentro do domínio de observação que envia uma mensagem ao domínio cognitivo o qual se utiliza do mecanismo de divisão ou cisão para construir duas representações novas que irão substituir a primeira no domínio linguístico. Essa heurística é a primeira a ser construída dentro da dimensão afetiva.

Outras heurísticas como a negação, pela qual simplesmente se ignora uma realidade, a projeção da culpa em algum outro evento ou objeto do mundo, a racionalização quando justificamos nossas atitudes baseando-nos em premissas lógicas, a formação reativa que se caracteriza por um ato ou hábito psicológico oposto ao desejo que recalemos, a identificação, a regressão, o isolamento, o deslocamento e a sublimação também são incorporados ao domínio cognitivo como mecanismos de defesa diante de acomodações não satisfatórios ao universo exterior. O modelo deve ser capaz de explicar como essas heurísticas são construídas e como, a partir de situações concretas, as elegemos como mecanismo de equilíbrio.

Esquemas básicos, associados à fome de carícias e à fome de contato passam a ser incorporadas também pelo subsistema de processamento primário que, a partir dessas construções, vai tornando o bebê em um elemento mais e mais ativo dentro do universo que habita.

No início do segundo ano de vida a libido passa da organização oral para a organização anal. Trocas de mensagens entre as dimensões física e afetiva vão disparar essa nova fase do desenvolvimento. Projeção permite expulsar e controlar significa reter. Aos esquemas associados à fase oral se juntam outros correspondentes ao novo período. O subsistema primário de processamento, realimentado pelo ego desenvolve novas construções definindo novos objetivos a serem alcançados para a obtenção do prazer. O sentimento de autonomia ou de adequação se origina nesta fase, ou seja, construções positivas dentro do domínio cognitivo são realizadas.

A socialização e a internalização de valores estarão ligados à receptividade que os 'produtos' terão no mundo. A passagem para o período pré-operatório pode ser atrasada ou adiantada em função do experimentado em termos de afeto nesta fase.

Embora estejamos realizando uma análise convém não esquecer que simultaneamente progressos estão sendo realizados em todas as dimensões e que esses progressos se interligam uns aos outros.

No pensamento infantil, ética e estética se confundem, o belo, o bom e o amor são correlatos. O sentimento geral de adequação do que produzimos é o que nos dará liberdade e confiança para criar e produzir. Há um grande prazer em expelir e reter e é sobre este vínculo de prazer que serão exercidas as primeiras pressões de socialização.

A formação de valores, nesta fase é rígida. O certo e o errado devem estar bem definidos. A expectativa presente é a da recompensa do bem e da punição do mal. A criança experimenta uma dicotomia organizadora do bem e do mal. Isto corresponde a descrição de Piaget sobre os julgamentos da criança, ou seja, o afetivo domina o cognitivo.

As defesas projetivas, ou seja paranóides, serão derivadas das modalidades expulsivas. As defesas por controle, ou seja, obsessivas, serão derivadas da retenção. Se os produtos forem projetado numa estrutura paranóica, na estrutura retentiva serão retidos e controlados. A neurose obsessiva é a segunda consequência do fracasso do desenvolvimento da fase anal acarretando, no indivíduo, uma incapacidade de criar.

Por volta dos três anos de idade a erotização passa a ser dirigida pelos genitais. Os bebês de Turing devem ter olhos e ouvidos, paladar, gosto e tato para poderem perceber e conhecer o mundo da forma como percebemos. Isso, no entanto, não é suficiente. A boca, os esfíncteres que permitem expulsar ou reter partes de si mesmo, algum tipo de genitália devem também ser simulados dentro de um inatismo que faz com que em tempos determinados prazer possa ser obtido pela utilização desses 'sentidos afetivos'.

A erotização cria um desejo insatisfeito acumulando tensão. Esta tensão deve ser descarregada, o que proporciona prazer. O subsistema de processamento primário que, como vimos, associa um temporizador a cada esquema é o gerador dessa tensão provocando os desequilíbrios internos que lançam a criança em busca da satisfação desses desejos.

Personalidade e identidade são conceitos distintos. Os padrões de condutas cobrados ficam mais próximos das definições de personalidade e a definição das aquisições ficaria mais próxima dos conceitos de identidade, mas os dois conceitos são extremamente interdependentes.

#### 10.6.4 Dimensão espiritual

Não é nossa intenção desenvolver nenhuma modelagem para esta dimensão. Como colocado anteriormente faltam teorias adequadas para tal representação.

## CAPÍTULO DÉCIMO PRIMEIRO

### APLICAÇÃO DO MODELO NA MODELAGEM COGNITIVA

#### 11.1 Introdução

*Mesas de três pernas estava ele (Héfestos) fazendo, vinte ao todo, para Colocar ao longo da parede de sua bem construída sala.*

*A essas ele adaptou rodas forjadas em ouro,*

*pois assim elas iriam por si próprias ao banquete*

*Dos deuses, a sua vontade, e voltariam deixando todos desconcertados. (373-377)*

*Criadas vestidas de ouro prestavam grande ajuda aos seus senhores;*

*Parecendo moças de verdade, elas davam provas de aguçado entendimento*

*Por suas falas inteligentes, eficientes e habilidosas atuações. (417-420)*

*(Homero, Livro 18 da Ilíada)*

Nos diz a lógica epistêmica clássica que, para conhecermos o 'real', é preciso que sejamos dotados de mecanismos capazes de perceber os fenômenos, ou seja, *esquemas físicos* ( $E_f$ ) que nos permitam assimilar ou acomodar as coisas do mundo; que acreditemos neles, ou seja, tenhamos *esquemas de crença* ( $E_c$ ) e justificativas para essas crenças, ou seja, *esquemas de explicação* ( $E_e$ ). Além dessas estruturas pertencentes ao domínio cognitivo, nas diversas dimensões temos, no subsistema primário de processamento, *esquemas primitivos* ( $E_p$ ), orientados para a obtenção do prazer. Esta construção é realizada continuamente através de percepções sensorio-motoras, externas, e perturbações internas, referentes a diversos desequilíbrios como, por exemplo, os decorrentes da auto-avaliação, pelo agente, das ações por ele efetuadas.

A criança, segundo Jean Piaget (apud Lima), na fase sensorio motora, utiliza o *movimento* como o mecanismo morfogenético básico. Um indivíduo, movendo-se no espaço euclidiano, realiza, no máximo, um grupo de deslocamentos. Piaget chama de inteligência sensorio-motora a esta capacidade. Conhecer para a criança, nesta fase, se constitui em, guiada pelos esquemas primitivos, mover olhos, mãos, etc., de forma a atender suas 'necessidades'. Os primeiros esquemas a serem acrescentados na ontogênese autopoiética da entidade são, portanto, os esquemas físicos. Esquemas de crença e de explicação são construídos como resposta aos impasses encontrados, sendo vistos como sub-produtos da atuação do mecanismo de equilíbrios ao tentar solucioná-los.

Os estudos de Steinbuch (1977) demonstram que o número de informações por segundo que chegam a um agente cognitivo e que, no nosso modelo, podem ser representadas por um vetor  $X(\text{meio})$  é da ordem  $10^9$ . Essas são as informações que somos capazes de captar do real por meio dos sentidos. Por outro lado, um vetor  $W$ , que represente a entrada dentro de um esquema pertencente ao domínio cognitivo, não precisa conter mais do que 100 informações por segundo, correspondentes à quantidade de informações que somos capazes de tratar a nível consciente.



Antes de construir algum tipo de estrutura de classe a criança passa por uma fase intermediária, o nível das coleções não figurais, em que o conceito de similaridade vai sendo, ele mesmo, construído. Em nossa modelagem fica clara a proporção entre valores próprios do meio-ambiente que são considerados pela entidade ( $10^9$ ) e valores próprios do vetor real de entrada da dimensão cognitiva (100) e da saída do agente ( $10^7$ ). Definimos ainda, a priori, como medir essa similaridade. Fica claro, no entanto, que, numa abordagem inteiramente construtivista, tal conceito deva ser construído

$$sim(R, S) = \frac{\sum_{i=1}^{10^9} (1 - abs(sub(r_i, s_i)))}{10^2}$$

em que:

$$sub(r, s) = \begin{cases} 1 & \text{se } r = \# \text{ ou } s = \# \\ r - s & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Observe que como W possui no máximo 100 valores próprios essa medida de similaridade resulta num valor entre 0, quando não há nenhum casamento entre a entrada do meio e a do esquema, e 1, quando os 100 valores próprios do vetor W casam com os respectivos valores próprios de X.

Quando comparamos o vetor objetivo V(agente) com o vetor real X(meio) que resulta da aplicação do esquema, empregamos:

$$sim(R, S) = \frac{\sum_{i=1}^{10^9} (1 - abs(sub(r_i, s_i)))}{10^7}$$

## 11.2 O mecanismo de equilibrações

Definido o universo e os seres que nele habitam, cada agente cognitivo, de posse de estruturas inatas herdadas da espécie a qual pertence atua, de maneira ativa dentro desse universo, de forma a preservar a sua autopoíesis. Piaget (capítulo terceiro) distingue um mecanismo de assimilação que corresponde às coisas do mundo para as quais já possuímos esquemas capazes de reconhecê-las e um mecanismo de acomodação que é capaz de construir novos esquemas adaptativos ao meio ambiente.

Quando assimilamos algo, esse algo nos modifica, acrescenta à entidade alguma coisa que antes não estava presente. Quando acomodamos, primeiro nos modificamos de forma a poder assimilar, ou seja, desenvolvemos novas estruturas assimilatórias e, daí, nos modificamos de novo como resultado da assimilação subsequente.

Uma arquitetura geral, capaz de simular as teses piagetianas, é mostrada abaixo.

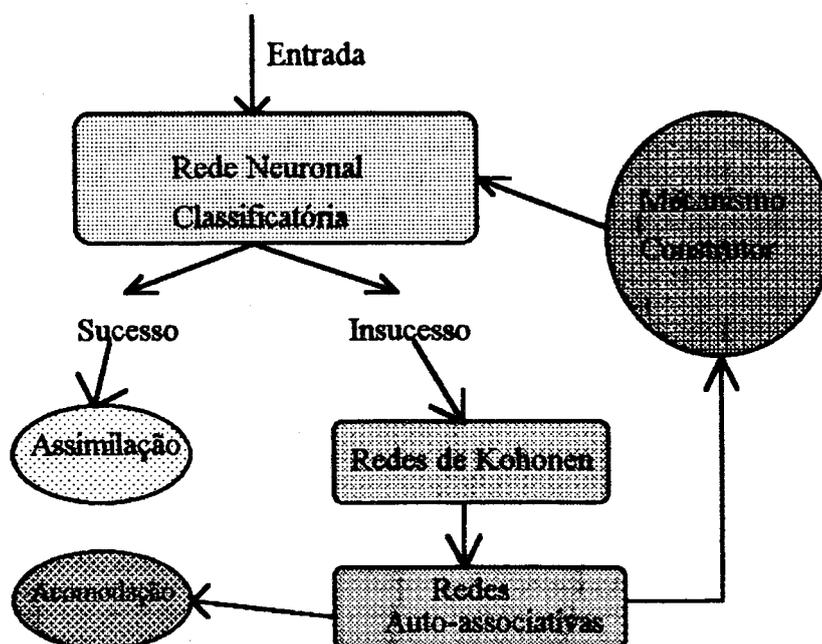


Figura 11.2 Arquitetura Neuronal para assimilação e acomodação de dados do mundo

Uma rede neuronal classificatória, herdada da espécie e também construída a partir dos conceitos aprendidos pela entidade ao longo de sua ontogênese analisa os fatos internos ou externos a ela tentando assimilá-los. Caso, após submetidos à rede classificatória, a entrada seja rejeitada, o que é o mesmo que dizer que a mesma não é passível de assimilação, procede-se à acomodação.

O processo de acomodação consiste, por sua vez, no emprego de redes de treinamento não supervisionado, que funcionam como uma rede de pescador que vai, pouco a pouco, se estendendo até capturar os padrões existentes dentro do universo associado à entidade cognitiva. Após um tempo de treinamento, bons esquemas perdem à flexibilidade de deslocamento para se ajustar à novidades sendo considerados, dentro do modelo, como novos conceitos aprendidos.

Esses novos conceitos aprendidos vão ser filtrados e depurados por uma Rede Neuronal Auto-Associativa e acrescentados a um conjunto  $E_A$  de esquemas que já completaram seu ciclo de aprendizagem, sendo utilizados, por um mecanismo construtor, de forma a manter sempre atualizada uma rede neuronal classificatória capaz de assimilar os dados aprendidos do mundo.

### 11.2.1 Assimilação

Construídos e filtrados os novos padrões pelo paradigma do treinamento não supervisionado e o emprego de redes auto-associativas, os mesmos são usados por um mecanismo construtor para treinar redes classificatórias mais eficientes.

Um bom modelo que permita classificação múltipla não se limita a apenas classificar as entradas nas diversas alternativas possíveis mas possibilita, ainda, uma tomada de decisão que implica na 'rejeição', a constatação de que algum objeto do mundo real não pertence a nenhuma das classes.

A melhor maneira de implementar tais modelos consiste em destinar um neurônio de saída para cada classe. Uma saída alta implica que a classe está presente. O treinamento é tal que, quando isso acontece, os outros neurônios de saída apresentam baixo nível de ativação. Se todos os neurônios estiverem 'off' isso é interpretado como uma 'rejeição'. Essa rede é então usada para *assimilação* das 'coisas' do mundo enquanto os rejeitados são submetidos ao processo de *acomodação* para que um novo conceito seja construído.

Os programas residentes na dimensão de observação verificam periodicamente o banco de dados comum, executando o seguinte:

- ⊗ identificação dos esquemas que já não podem aprender e que possuem um alto nível de avaliação.
- ⊗ retirada desses esquemas da rede de aprendizagem não supervisionada
- ⊗ filtragem desses esquemas pelo uso de redes neuronais auto-associativas.
- ⊗ classificação desses esquemas hierarquicamente.
- ⊗ atualização / construção de uma rede classificatória
- ⊗ atualização / construção de uma rede semântica intensional.

Tudo se passa como se utilizássemos uma rede neuronal de treinamento não supervisionado para treinar uma rede neuronal clássica. Isto é, ainda, uma metáfora biológica que pode explicar os automatismos que construímos.

Os dados do meio-ambiente assimilados pela rede neuronal são considerados como instâncias dos conceitos representados pelos neurônios que responderam ao padrão. Para cada conceito que integra a rede semântica intensional é construída uma rede semântica extensional com as coisas do mundo assimiláveis por aquele conceito. Programas que traduzem redes neuronais em redes semânticas e vice-versa constam da literatura recomendada (Denis, 1991). Redes Semânticas podem ser traduzidas em textos e textos podem se transformar em linguagem.

Pode-se imaginar interfaces de hipermídia tanto nos domínios linguístico como no de conduta e um mecanismo tradutor de sons, imagens e textos em vetores reais que representariam uma entrada X do mundo. Da mesma forma, uma saída Y para o meio-ambiente poderia ser traduzida em sons, textos e imagens, estendendo o universo da entidade autopoietica para um universo maior e mais real. Esse tradutor pode ser construído utilizando-se o paradigma das redes neuronais não supervisionadas em que, após aprendido um conceito, a entidade, como uma criança que pergunta 'o que é determinada coisa', 'isso é um exemplo de determinada coisa?', etc. associaria esquemas aprendidos a nomes; ou seja uma rede não supervisionada de aprendizagem reforçada. (Masters, 1993)

Nossa intenção, no entanto, não é a de chegar a tal nível de refinamento. O hardware e software necessários implicam não só em recursos que não estão disponíveis mas em um trabalho de mais longo prazo, envolvendo uma equipe de analistas, uma construção da qual pretendemos participar.

Por enquanto, para melhor compreensão, imaginemos que um 'exemplar', representado por um vetor  $X$ , seja, inicialmente, submetido à uma rede neuronal classificatória. Caso não seja 'rejeitado', isto significa que o mesmo corresponde a uma instância de um conceito associado à um esquema aprendido. Por exemplo, temos um esquema capaz de reconhecer cachorros por latirem e o Scooby, um outro agente pertencente ao universo, late. O vetor  $X$  de entrada é, por exemplo:

	Tamanho	Pelo	Cor	Late	Sons(Nome)
$X$	0.4	0.8	0.3	0.9	0.2

A rede neuronal é capaz, pelos dados relativos a tamanho, tipo de pelo, cor e por latir, em classificar  $X$  como a representação de um cachorro, cuja instância relativa a nome tem o valor 0.2.

Essa Rede Neuronal de Classificação é constantemente traduzida em uma *Rede Semântica Intensional*. As instâncias assimiladas vão constituir uma *Rede Semântica Extensional*. Se a rede neuronal rejeitar a entrada; ou seja, trata-se de algo novo para o qual não temos esquemas de assimilação aciona-se o *processo de acomodação*.

#### • Assimilação Funcional, Generalizadora e Recognitiva

Piaget entende por assimilação funcional (capítulo terceiro) a repetição de um reflexo, possibilitando uma maior eficiência na utilização do mesmo. Assimilação generalizadora, consiste em se aplicar um reflexo automatizado a contextos diferentes. Assimilação recognitiva, é aquela em que o resultado desejado da ação de um esquema afeta o seu curso. Os esquemas admitem modificações decorrentes de resultados obtidos pela experimentação. Em nosso modelo, esses três tipos de assimilação ocorrem desde a fase de aprendizagem nas redes de Kohonen dentro de um paradigma de competitividade. Embora tenhamos dito que as redes de treinamento não supervisionado correspondam ao processo de acomodação é fácil compreender que um esquema novo, em seu processo de avaliação, vai sendo depurado dentro desse tipo de rede até que tenha atingido um grau de eficiência que pode ser medido pela impossibilidade de continuar aprendendo. Da mesma forma, sendo um bom esquema, ele passa a ser empregado para acomodação de contextos desconhecidos, ou seja, o mecanismo busca generalizar a sua aplicação.

Após várias tentativas desordenadas, a criança aprende que quando o bico do seio toca a bochecha esquerda ela deve virar a cabeça para a esquerda se quiser sugar. A heurística de tentativa e erro é considerada, por nós, como sendo inata e correspondendo, no paradigma genético, a um sorteio para definir um segmento da população de pais.

O modelo do mundo para a criança, ao nascer, consiste em espaços visuais, o que é detectado pela visão; espaços manuais, o que pode ser alcançado pela mão; espaço bucal, etc. Dentro do mecanismo os primeiros esquemas a serem construídos são aqueles ligados ao grupo de deslocamentos o que corresponde ao observado por Piaget.

O domínio de observação, ao modelar o mundo da criança ao nascer, o fará necessariamente como um agregado de espaços independentes; estados sensoriais, sobre os quais podem atuar esquemas; ações motoras.

### 11.2.2 Acomodação

As redes neuronais, criadas por Teuvo Kohonen, por apresentarem a característica de auto-organização, podem ser empregadas para simular entidades da mesma natureza. São formadas por duas camadas, capazes de organizar um mapa topológico a partir de um ponto inicial aleatoriamente escolhido. No aprendizado competitivo os neurônios competem pelo privilégio de aprender. É permitido que apenas um ou no máximo uns poucos neurônios ajustem seus pesos em resposta a um padrão na entrada.

O comportamento dos esquemas em relação aos dados de entrada é vista como o de uma rede desse tipo, com múltiplos vencedores, em que a entrada seria resultado de um pré-processamento difuso e os neurônios do nível competitivo, identificados com os esquemas. A matriz de pesos da rede, que interconecta cada neurônio da entrada a cada neurônio do nível competitivo seria a lista de vetores  $W$ , associados aos observáveis de cada esquema. A rede seria composta então por:

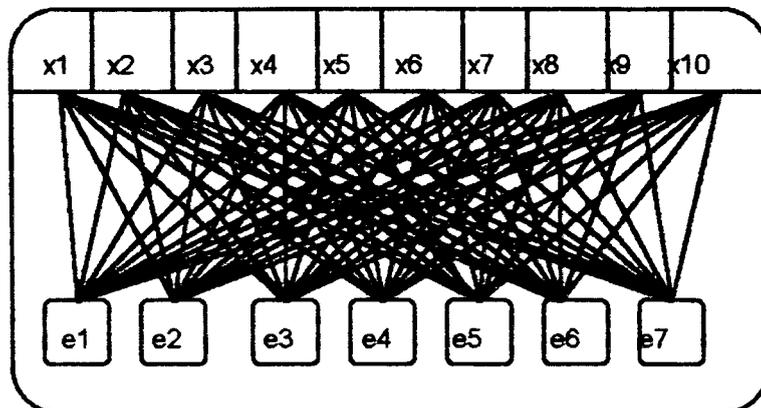


Figura 11.3 Representação do Conjunto de Esquemas e Vetor de Entrada de um Agente Cognitivo como uma Rede Neuronal<sup>1</sup>.

A cada entrada externa ao domínio cognitivo, um neurônio ( $e_i$ ) do nível competitivo dispara, normalmente aquele mais capacitado a reconhecer os observáveis presentes na entrada. Quando um neurônio vence, diz-se que ele foi o melhor reconhecedor para o conceito impresso na entrada. O conjunto de neurônios vencedores é construído e os esquemas avaliados.

<sup>1</sup>Wazlawick, 1993

Esquemas podem possuir ou não uma história. Aqueles que já dispararam outras vezes sofreram uma avaliação. Avaliar um esquema consiste em comparar o resultado previsto pela sua aplicação com o resultado real equivalente a próxima entrada apresentada ao domínio cognitivo da entidade autopoietica. Se a resposta do ambiente resultar numa avaliação ainda boa porém inferior às obtidas anteriormente isto significa que estamos diante de um fato novo e que podemos utilizar esses esquemas para construir novos que respondam de forma mais adequada. Este processo de construção, como todo o processo de construção dentro do modelo, utiliza o paradigma dos algoritmos genéticos.

A cada esquema está sempre associada uma memória que nos diz da frequência com que o mesmo dispara e as avaliações obtidas. Nenhum esquema é destruído. Os bons esquemas acabam por aprender sendo retirados da rede de aprendizagem e os esquemas ruins, com uma história de baixas avaliações, são retirados da rede e empregados para inferências relativas ao conhecimento daquilo que sabemos de antemão que não vai dar certo. O número de esquemas em aprendizagem é sempre mantido no entorno de uma constante. Esquemas retirados são substituídos por novos, buscando-se preservar uma diversidade de material genético.

Após definido um vencedor, ou seja, escolhido um dos esquemas pertencentes ao conjunto dos esquemas vencedores da competição na rede de Kohonen que mantiveram ou aumentaram a sua avaliação, ou que tenha sido construído por reprodução genética, as partes dos vetores de números reais  $W$ , associadas aos observáveis e  $V$ , associadas aos objetivos, serão ajustados utilizando o formalismo clássico desse tipo de redes, ou seja, fazendo  $r_i := r_i + ((s_i - r_i) \times \alpha) / 2$ , onde  $s_i$  corresponde à  $i$ -ésima componente do vetor de entrada no domínio cognitivo, antes e depois da aplicação do esquema e  $r_i$  corresponde à  $i$ -ésima componente dos vetores  $W$  e  $V$ , respectivamente. Essa constante de aprendizagem  $\alpha$  vai sendo reduzida a cada vez que o esquema é ajustado até chegar a um limite de 0.1. Evidentemente esse ajuste só é processado para os observáveis e objetivos levados em consideração pelo esquema.

A vantagem de usar aprendizagem neuronal está, exatamente, nesse ajuste dos esquemas em torno dos observáveis que lhes servem de "alimento". Assim, a confusão conceitual representada inicialmente por uma nuvem de pontos na qual os esquemas são jogados aleatoriamente, procurando por observáveis é organizada. Cada esquema será responsável por um determinado espectro de conceitos. Os contextos e resultados associados a um esquema ficam cada vez mais bem definidos, ou seja, a assimilação funcional permite que se atinja uma eficiência em sua utilização.

Quando cessa a aprendizagem, ou seja,  $\alpha$  se aproxima de 0.1, não cabe mais uma acomodação, mas uma assimilação, ou seja, um novo nó da rede de classificação deve ser construído de forma que, da próxima vez que o agente se veja diante de um conceito já conhecido o mesmo seja assimilado e não acomodado.

### 11.2.3 Observáveis e objetivos

É preciso diferenciar entre resultados de esquemas e objetivos do organismo. A cada instante um objetivo é perseguido e esquemas que não satisfaçam esses objetivos, ainda que expressem o resultado real da interação entre o organismo e o meio-ambiente, são classificados como 'maus esquemas', que devem ser evitados, os quais são retirados do conjunto de esquemas em aprendizagem e traduzidos em restrições que vão se somar à população que compõe o espaço de restrições.

A cada instante a entidade, através de um pós-processamento difuso (Fialho, dos Santos, 1994) avalia o seu estado atual e determina os objetivos que pretende atingir. A aplicação de um esquema pode aproximar ou afastar a entidade desse objetivo. A medida desse afastamento é utilizada para uma avaliação não quanto a fidelidade do esquema em representar o que realmente ocorre no universo por ela habitado mas para registrar se essa realidade é ou não de seu interesse.

O mundo é percebido por um agente cognitivo em termos de observáveis sobre os quais se pode realizar alguma ação esperando-se um determinado resultado. Uma característica importante na teoria do Piaget é aquela que estabelece a antecedência da resposta ao estímulo. Uma modelagem piagetiana não pode ignorar que o agente não se adapta, simplesmente, ao mundo, ele o modifica e é modificado por ele.

### 11.2.4 Necessidade de modelos não monotônicos

Outro problema que poderia ser levantado quanto à arquitetura proposta é que a mesma, aparentemente, é monotônica, ou seja, algo que é bom num determinado instante de tempo será sempre bom.

A não monotonicidade, no entanto, será garantida pela ação dos domínios de observação e auto-observação que são os responsáveis por resolverem os conflitos existentes na aplicação de 'esquemas conhecidos' para resolução de perturbações internas ou externas e, ainda, para solucionar construções contraditórias.

Outro mecanismo é o que retira das redes neuronais de assimilação e acomodação esquemas que 'a muito tempo' não são disparados. A determinação desse tempo, no entanto, é um parâmetro que só pode ser definido após o teste exaustivo do modelo e, portanto, não será tratada neste trabalho.

## 11.3 Os atores e suas características

*"O homem não é um ser racional, é um ser simbólico" (Ernst Cassires)*

Dentro da arquitetura proposta (capítulo décimo), o domínio cognitivo, presente em todas as diferentes dimensões de expressão da entidade, é o coração do sistema.

Nele estão contidos os esquemas sensório-motores que vão construir, por 'abstração reflexiva', os esquemas simbólicos que, internalizados, darão origem aos esquemas conceituais concretos num universo onde os objetos se encaixam em estruturas denominadas agrupamentos. Esta construção evolui até a maturação cognitiva quando hipóteses se combinam permitindo as operações formais. O domínio linguístico, sede das representações é construído a partir desses esquemas existentes no domínio cognitivo, da mesma forma que os procedimentos existentes no domínio de conduta. O conteúdo dos domínios de observação e auto-observação são programas de computador que, no estágio atual do modelo, foram definidos a priori mas que devem, eles mesmos, ser construídos a partir dos esquemas sensório-motores.

Um esquema sensório-motor é, na verdade, uma estrutura do tipo <contexto: procedimento: resultado> em que esse procedimento vai sendo construído a partir de ações simples, os atos reflexos herdados da espécie, evoluindo no estágio das operações formais em verdadeiros raciocínios lógicos, complexos e sofisticados.

Para se compreender, por exemplo, como podem ser construídos 'bons programas de computador' a partir de 'maus programas', remetemos o leitor ao livro "Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection" de John R. Koza (apud Nature, 1993) onde programas escritos em LISP, uma linguagem que também é um *parser* de si mesmo, se cruzam, criando novos programas até que determinado objetivo seja atingido.

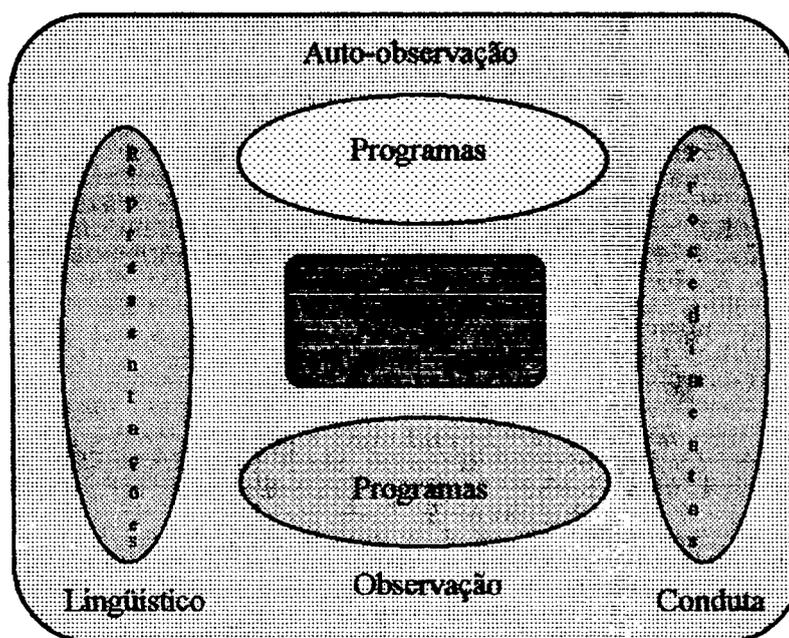


Figura 11.4 Conteúdo das diversas dimensões

A figura acima apresenta uma arquitetura que se repete para qualquer das dimensões mencionadas no modelo.

Programas são o conteúdo, como foi dito, dos domínios de observação e auto-observação. Representações em redes semânticas foram utilizadas como componentes do domínio linguístico. Procedimentos são armazenados no domínio de conduta e esquemas sensorio-motores, simbólicos e outras estruturas cognitivas mais avançadas formam o conteúdo do domínio cognitivo.

O objetivo da tese, construído ao longo de sua elaboração, excedeu a perspectiva de uma modelagem que se restringisse à dimensão psicológica de uma entidade autopoietica. Isto ocorreu pelo próprio fato de não se poder separar as dimensões física, afetiva e cognitiva de tais entidades posto que a maturação da evolução cognitiva se correlaciona com a gênese física (que se conclui por volta dos 16 anos, segundo Piaget, 1973) sendo inseparável da energia associada às emoções.

#### ☛ Esquemas simbólicos e linguagem

Uma estrutura é "um conjunto de relações através das quais alguém pode se dar conta das leis de composição e dos elementos que se acham em jogo na estrutura, sendo possível se inferir a estrutura e as suas leis a partir de seus efeitos". Claude Lévi-Strauss.

O que é observável são os efeitos. A estrutura em si é simbólica e inacessível. Na fase sensorio-motora a criança desenvolve, por exemplo, esquemas capazes de reconhecer cada tipo de árvore com a qual a mesma teve contato. Na fase de depuração em redes neuronais auto-associativas, no entanto, cada tipo de árvore é associada a um protótipo, um padrão, um símbolo. O processo pelo qual os esquemas, ao completarem sua fase de aprendizagem nas redes de Kohonen, se candidatam a construir nós conceituais na rede classificatória, pode ser interpretado como correspondendo ao conceito piagetiano de 'conservação'. Diversos esquemas 'conservados' que não acrescentam nós à rede neuronal classificatória mas que servem para refinar um padrão se constituindo, apenas, em membros do conjunto extensional associado a um conceito, acabam por formar os primeiros símbolos a habitarem o domínio cognitivo da entidade.

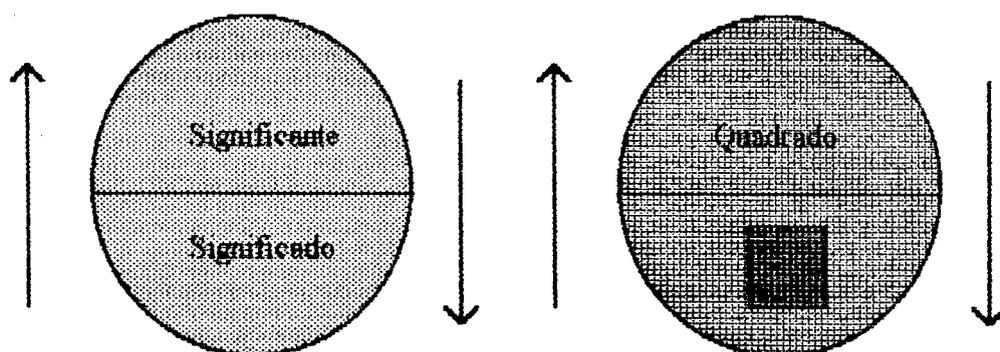


Figura 11.5 Representação de signos para Ferdinand Saussure

Ao ouvir uma palavra por diversas vezes o mecanismo começa a treinar esquemas do tipo <palavra = *significante: ouvir: significado*>. Conservados esses esquemas após o treinamento não supervisionado, o mecanismo vai criar um símbolo onde, para cada 'palavra' ficam associados os diversos significados os quais, por sua vez, podem ser exemplos, metonímias (vela de barco) ou metáforas Barco flutuando como uma garça). A linguística clássica define, ainda, a combinação de fonemas como importantes dentro da estrutura de uma linguagem. Numa abordagem piagetiana, no entanto, que privilegia uma 'gestaltkreis', tal 'conhecimento' só se desenvolve bem mais tarde, quando a criança desenvolve as estruturas de combinação. A aprendizagem pela silabação funciona mas no sentido de uma metonímia do que uma relação independente.

Todo processo de abstração reflexiva se dá no domínio de auto-observação, inclusive o que conduz ao desenvolvimento da linguagem. O processo completo pode ser modelado como sendo o resultado, primeiramente, da aplicação de esquemas físicos de imitação do tipo <sons: *imitar: sons*> que vão ser exercitados em redes de Kohonen por assimilação funcional e guardados em um espaço auditivo dentro do domínio de observação. Ao mesmo tempo, como esses mesmos sons disparam esquemas do tipo <sons: *focar a visão: imagens*>, <sons: *cheirar: odores*>, etc. que vão constituir, dentro do domínio de observação, a classe dos esquemas que disparam diante de um mesmo contexto. Ao fim de algum tempo, quando a complexidade dentro do banco de dados atinge um limiar pré-determinado, uma mensagem é encaminhada ao domínio de auto-observação que, de posse de heurísticas criativas, constrói meta-estruturas. No estágio atual tal heurística pode ser definida a priori usando os conhecimentos disponíveis em linguística.

### 11.3.1 Editor de universo

O meio-ambiente é uma entidade autopoietica de maior ordem, ou seja, um agente cognitivo que deve ser modelado pela arquitetura de quadro-negro em dimensões e domínios conforme definido no capítulo décimo.

Essa entidade se diferencia de uma entidade autopoietica de menor ordem pelo simples fato de já ter uma história, ou seja, uma ontogênese diferente na qual já construiu, desde a sua criação, bem anterior à do agente, estruturas apropriadas à manutenção de sua autopoiesis e, também, por interagir com um número muito maior de entidades alo e autopoieticas, internas ou externas a ela.

Existe, dentro do modelo proposto, uma 'classe geral' que chamamos de universo e que é constituído por um determinado mundo e as entidades que nele habitam. Para simular as perturbações externas a um organismo seria necessário modelar todo o meio-ambiente dentro do qual o mesmo exerce sua *autopoiesis*.

A modelagem completa de uma organização, por exemplo, pode ser construída de forma idêntica à de um agente cognitivo. Na prática pode-se fixar a priori as características da mesma.

Piaget (1952), propôs que um organismo pode evoluir dinamicamente em seu meio ambiente a partir de: (i) fatores genéticos (como os projetistas da organização a projetaram); (ii) interações sensoriais com o mundo externo (como a organização está funcionando realmente); (iii) integração social (qual é o nível de satisfação dos componentes do organismo) e (iv) busca por uma equilibração das estruturas cognitivas (quanta flexibilidade possui a organização para se adaptar a mudanças externas e internas?).

Uma modelagem cognitiva das organizações, vistas como entidades autopoieticas, permite uma análise dinâmica da organização em contínua adaptação a um meio em mudança do qual ela é parte indissociável. Esta nova proposta relativa à ergonomia estende sua amplitude de uma visão antropocêntrica para uma visão biocentrada onde o construtivismo rende justiça à dimensão reflexiva das ciências cognitivas.

### 11.3.2 O Agente Cognitivo

O universo onde podemos testar nosso modelo é povoado por agentes que procuram equilibrar suas *estruturas cognitivas* às características do ambiente e à interação com outros agentes. O meio-ambiente é visto como uma entidade autopoietica de maior ordem<sup>2</sup>, modelada da mesma forma que os agentes que nele habitam e sujeito ao mesmo mecanismo de equilibração.

#### • Observáveis por agentes humanos

O universo é percebido pelos seres humanos através de imagens, sons, cheiros, sabores e sensações tácteis. A melhor forma de registrar esses observáveis é empregando lógica difusa, razão pela qual optamos por empregar vetores reais tanto para representar as entradas do meio como para os contextos associados a cada esquema. Valores impróprios, representados por # foram utilizados para representar dados do mundo que são irrelevantes para o agente em termos de decisão quanto a ação a tomar de forma a atingir seus objetivos.

Ao nascer, a criança é dotada de praticamente todos os sentidos e está biologicamente apta para experimentar a maioria das sensações. Pode ver, ouvir, cheirar, tem sensibilidade a dor, ao tato e às mudanças de posição. O gosto é logo desenvolvido se é que já não esteja presente no nascimento. Um observável representa alguma aspecto particular do mundo. Existem dois tipos de observáveis, primitivos e construídos. Os primitivos correspondem a alguma entrada sensorial. Exemplos de observáveis primitivos são<sup>3</sup>: aqueles relativos à posição das mãos, do olhar, associados à textura quando se toca um objeto com os 'dedos', etc. Observáveis construídos correspondem a esquemas aprendidos pelo organismo. O contexto 'lápiz preso na mão' pode ser construído e representado por um esquema onde o observável primitivo seja 'lápiz na mão' e a ação a executar corresponderia a 'agarrar'.

<sup>2</sup>Ver Capítulo Segundo, item 2.4

<sup>3</sup>Dresher, 1991

A construção e manutenção desses observáveis permitem a simulação do fenômeno de conservação observado por Piaget. A conservação de um objeto ou de massa exige o conceito de alguma realidade física. A conservação do número envolve uma abstração que não tem nada a ver com a Física. A extensão de um conceito é definida pelo conjunto de circunstâncias possíveis sob as quais o conceito é verdadeiro.

A intensão de um conceito é uma designação particular ou representação do mesmo. A intensão de um conceito, representada por um observável construído, é dada pelo próprio esquema que o define.

#### ☛ Ações e procedimentos

Como comportamentos reflexos básicos citamos: o de sucção; o de preensão; o andar quando se segura o bebê numa posição ereta e o nadar. Inicialmente, para simular o conceito de assimilação generalizadora, monta-se um 'esqueleto de esquema', vazio/ação/vazio. Existem dois tipos de ações; primitivas e construídas. Ações primitivas são parte do banco de dados inicial do modelo. Cada ação primitiva é ligada a alguma ação motora, ou seja, corresponde ao 'grupo de deslocamentos'. Exemplos de ações primitivas são: mover a mão incrementalmente para a frente, para o lado, para a direita e para a esquerda, idem para o olho, agarrar, soltar, sugar, etc.

Ao definir procedimentos estamos simplesmente estendendo a metáfora biológica que sustenta o presente trabalho. As ações motoras que formam, por exemplo, a tarefa de 'pegar um lápis' são automatizadas por nós. Todo automatismo é construção de um novo esquema que, ainda que incorpore esquemas mais simples, perde a 'consciência' de tal incorporação. Ao definir procedimentos como uma ação de per si temos, ainda, as seguintes vantagens:

- ⊕ O simulador pode aprender acerca dos resultados de 'pegar o lápis' diretamente, em vez de ter que tratar com uma série de resultados intermediários correspondentes às ações motoras empregadas em determinada ocasião para essa finalidade.
- ⊕ Tal simulador deve ser capaz de organizar atividades hierarquicamente o que é extremamente desejável quando se pensa na construção das seriações e outros tipos de categorizações. Uma cadeia de esquemas, como veremos, pode incorporar a ação de 'pegar o lápis'.
- ⊕ O simulador pode aprender acerca dos efeitos de se 'pegar o lápis', que passa a ser mais um observável, mesmo quando essa ação ocorre como um evento externo, fora do controle do mecanismo, o que facilita a progressão piagetiana de esquemas de atividades físicas (centradas) para esquemas que são independentes de uma ação pessoal.

Um procedimento é sempre definido com respeito a algum objetivo a ser atingido; isto é, como a ação que provoca a transição para determinado estado.

Como o contexto ou resultado associados a um esquema, o estado objetivo de um procedimento é um conjunto de observáveis que devem estar ou não estar incluídos. Um procedimento é um conjunto de ações ou outros procedimentos necessários a que se chegue, por quaisquer que sejam os meios disponíveis, a um estado desejado. Esses meios são dados por cadeias de esquemas que conduzem ao objetivo desejado, tomando-se diferentes pontos de partida. Tais esquemas são ditos 'componentes' do procedimento.

Do ponto de vista dos agentes, os mesmos podem ser distinguidos pelo tipo de observáveis, suas possibilidades de ações e as funções objetivo que perseguem, sempre no sentido de preservar a sua autopoiesis. Para cada definição do que seja o conhecimento podemos desenvolver uma lógica epistêmica que retrate o significado que atribuímos ao que seja 'conhecer'.

Por simplicidade utilizaremos o formalismo clássico em que dizemos que um agente  $Ac$  conhece ( $K$ ) um fato  $p$  quando este fato  $p$  ocorre, o agente acredita nele ( $B$ ) e é capaz de encontrar uma justificativa ( $J$ ) para o mesmo;  $K(Ac, p) \rightarrow p \wedge B(Ac, p) \wedge J(Ac, p)^4$ .

Dentro dessa visão epistemológica podemos definir um agente cognitivo  $Ac$  pelos seguintes parâmetros:

$$Ac = (X, Y, maxPop, minPop, C, P, O, E_p, E_c, E_e, E_f, Restrições)$$

em que:

$X$  representa o vetor de entrada originado pelo meio-ambiente;

$Y$  representa o vetor de saída que vai atuar no meio-ambiente;

$maxPop$  define o número máximo de esquemas em aprendizagem

$minPop$  define o número mínimo de esquemas em aprendizagem.

$maxPop$  e  $minPop$  são constantes naturais;

$C$  é o conjunto de contextos reconhecidos pelo agente

$P$  é o conjunto de procedimentos desenvolvidos pelo agente

$O$  é o conjunto de objetivos perseguidos, em sua ontogênese, pelo agente

$E_p$  representa o conjunto de esquemas primitivos que expressam desejos;

$E_f$  representa o conjunto de esquemas correspondentes aos fenômenos (fatos  $p$ );

$E_e$  representa o conjunto de explicações para cada um dos esquemas existentes ( $J$ );

$E_c$  representa o conjunto de esquemas simbolizando as crenças que construímos ( $B$ ).

$Restrições$  é uma memória que contém a experiência adquirida pela entidade

#### ☛ Contextos (C)

O conjunto dos contextos reconhecidos pela entidade faz parte de um banco de dados relacional que contempla procedimentos e resultados, que também são contextos, os quais ficam registrados pela sua ontogênese autopoietica.

<sup>4</sup>Ver Capítulo Sexto; Lógicas Humanas, Lógica Epistêmica Clássica

### • Procedimentos (P)

Essa parte do banco de dados é inicializada com os reflexos inatos, sendo periodicamente acrescida com novas ações e procedimentos aprendidos pelo organismo. A cada procedimento são relacionados os contextos aos quais se aplicam; as ações primitivas que o constituem, os resultados obtidos pela sua aplicação e a distância desses resultados aos objetivos gerais da entidade.

### • Objetivos (O)

Essa parte do banco de dados também é inicializada com os objetivos primitivos, os desejos herdados da espécie, os quais obedecem a uma lei maior de sobrevivência. Novos objetivos vão sendo construídos, enriquecendo o banco de dados. A cada objetivo estão relacionados o histórico de sucessos e insucessos obtidos assim como os meios utilizados, ou esquemas, para se tentar atingi-los.

### • Esquemas primitivos ( $E_p$ )

Um *esquema primitivo* é disparado de acordo com uma equação matemática que traduz a importância de atender determinado desejo (ou fome). A necessidade desses esquemas dentro de uma modelagem piagetiana advém do inatismo genético, das armas com que uma espécie é dotada pela natureza para sobreviver em um meio-ambiente hostil. Consideremos, por exemplo, a *fome por alimentos* de um bebê. Se ele está saciado, o esquema associado será disparado de três em três horas. Esse mecanismo é inato. Em função das condições do meio-ambiente essa equação vai sendo modificada, ou seja, uma nova equação vai sendo construída. Após, digamos, 24 horas sem se alimentar, a entidade autopoietica representada pelo bebê se desintegra; ou seja, não é mais capaz de manter a sua autopoiesis.

Alguém poderia argumentar que essas respostas 'emocionais' são programadas e que tais demonstrações não teriam paralelo com o que ocorre com os seres humanos. A resposta a essa argumentação é a de que, nos limitando a programar aquilo que já está geneticamente programado, deixamos plena liberdade à máquina para construir novas emoções e que as mesmas vão depender, única e exclusivamente, da ontogênese autopoietica das mesmas. Consideremos a seguinte definição:

$$E_p = (F, O, f(t, f, m), T_p, M_s, M_i)$$

em que:

$F$  é a fome que deve ser saciada

$O$  é um determinado objetivo a ser atingido pelo organismo, um vetor real  
 $f(t, f, m)$  define a periodicidade com que o esquema deve ser disparado

$M_s$  é um contador que acumula sucessos

$M_i$  é um contador que acumula fracassos

$T_p$  é uma tabela que correlaciona valores de  $f(t)$  à estados emocionais

**Exemplo de Tabela que correlaciona valores de  $f(t)$  à estados emocionais**

seja  $f(t, f, m) = t - f$  onde  $t$  mede o tempo a partir da satisfação de um esquema,  $f$  determina a frequência com que a necessidade deve ser atendida e  $m$  determina o tempo em que, se a necessidade não for atendida, a entidade se desintegra

$T_p :=$

indiferença se $f(t)$	$:= \{-f, -2\}$
leve interesse se $f(t)$	$:= -1$
interesse se $f(t)$	$:= 0$
urgência se $f(t)$	$:= \{1, \sqrt{3}\}$
desespero se $f(t)$	$:= \{\sqrt{3}, 2\sqrt{3}\}$
apatia se $f(t)$	$:= \{2\sqrt{3}, m\}$
destruição se $f(t)$	$:= \{m, +\infty\}$

*Figura 11.6 Exemplo de tabela de emoções*

Uma forma de entender a tabela de emoções é dada pelo exemplo acima. Os valores da tabela são inicializados da mesma forma que o genoma humano programa a entidade para garantir a preservação de sua autopoiesis. O subsistema de pré-processamento, em função dos valores de  $M_s$  e  $M_i$ , altera não só a forma da função como a própria tabela. Quando a entidade 'aprende' como obter alimento a ansiedade em relação a este esquema primitivo diminui posto que a medida de sucesso passa a exceder o de falhas, alterando a tabela de emoções como mostrado abaixo. Um modelo realmente construtivista deveria ser capaz de construir as funções e desenvolver as heurísticas de alteração da tabela. No presente estágio de desenvolvimento essas funções e heurísticas podem ser pré-definidas como; por exemplo:

**O Espaço de funções:**

Sejam:

$t$  = tempo contado a partir da última satisfação do esquema  
 $f$  = frequência da necessidade de atender ao desejo  
 $m$  = tempo limite a partir do qual se a necessidade não for atendida a entidade perde a sua autopoiesis.

Temos, pertencendo ao espaço de funções:

linear,  $f(t, f, m) = t - f$  se  $t < m$  destruição se  $t \geq m$   
 exponencial;  $f(t, f, m) = e^t / e^f$  se  $t < m$  destruição se  $t \geq m$   
 senóide;  $f(t, f, m) = \text{sen}(t\pi/2f)$  se  $t < m$  destruição se  $t \geq m$   
 etc.

A cada tipo de função pode-se associar uma tabela de emoções como a mostrada na figura 11.6

### ◊ Conjunto de Heurísticas:

Não é nossa intenção definir as heurísticas, os resultados obtidos e interpretação desses resultados. Um modelo construtivista deve ser capaz de construí-las cabendo a um observador externo interpretar a eficácia das mesmas. Em aplicações práticas do modelo pode-se escolher um conjunto de procedimentos apropriados ao tipo de aplicação. Damos abaixo um exemplo de como tais procedimentos poderiam ser definidos a priori.

-Compare  $M_s$  com  $M_i$ . Se:

$M_i > 0.9 M_s$ , diminua a frequência  $f$  em 10%

$M_i > 0.8 M_s$ , diminua a frequência  $f$  em 10%

$M_i > 0.7 M_s$ , diminua a frequência  $f$  em 10%  
até o limite de  $0.5 f$

$M_i < 0.9 M_s$ , aumente a frequência  $f$  em 10%

$M_i < 0.8 M_s$ , aumente a frequência  $f$  em 10%

$M_i < 0.7 M_s$ , aumente a frequência  $f$  em 10%  
até o limite de  $0.7m$

### ◊ Esquemas de crenças

Crenças são um registro da história de cada entidade, da confiança que temos em obter as coisas que desejamos ou em ter sucesso em nossas empreitadas. Um *esquema de crença* é uma estrutura dada por:

$$E_c = ( \text{Esquema}, \text{Valor} )$$

em que:

*Esquema* identifica cada um dos diferentes esquemas existentes

*Valor* é o grau de confiança a ele associado: variável real no intervalo  $[0,1]$ .

### ◊ Esquemas explicativos

Um *esquema explicativo*  $E_e$  é uma rede semântica. Um fato  $p$  consiste em algo ocorrido no universo que pode ser assimilado, acomodado ou ignorado pela entidade. O processo de assimilação consiste em submeter uma entrada que representa algo externo ao domínio cognitivo do agente, à uma rede neuronal classificatória, construída com base em conceitos já aprendidos pela entidade. O processo de acomodação só se inicia quando a tentativa de assimilação, pela entidade, de um dado do mundo, resulta em uma saída tipo 'rejeição' por parte da rede neuronal classificatória. Nesse caso emprega-se uma rede neuronal de Kohonen e a técnica dos algoritmos genéticos para aprendizagem de novos esquemas. A rede semântica  $E_e$ , por representar a parte compreendida da realidade corresponde, portanto, aos conceitos aprendidos que são explicados pelos fatos já assimiláveis pela entidade.

No domínio linguístico outra rede semântica que compreende esta mas que se estende também para fatos do mundo que não chegam a ser 'conhecidos', posto que os conceitos relativos a estes fatos ainda não foram construídos, pode ser conectada a um interface de hipermídia fazendo a tradução das representações simbólicas para os sons, imagens e textos, permitindo uma melhor interface a nível simbólico com outras entidades do universo. Nossa intenção, aqui, não é a de implementar de forma completa toda a arquitetura mas apenas demonstrar sua utilidade e aplicabilidade, razão pela qual nos limitamos a dizer como tal rede poderia ser construída.

$$Ee = (\text{fato}, \text{Rede Semântica})$$

em que:

*Fato* corresponde a eventos ocorrendo fora do domínio cognitivo da entidade  
*Rede Semântica* é uma estrutura de explicação para um fato *p*

#### • Esquemas físicos

Esquemas físicos podem ser simples ou compostos. Esquemas físicos simples são alimentados por objetos exteriores (conteúdos exógenos), enquanto os esquemas físicos compostos se alimentam de outros esquemas físicos de menor ordem (conteúdos endógenos) formando estruturas cognitivas cada vez mais complexas.

Um *esquema físico simples ou composto*, *Ef*, é uma estrutura dada por:

$$Ef = (W, P, R)$$

em que:

*W* é um determinado contexto esperado por um esquema  
*P* corresponde a um procedimento a ser executado por um esquema  
*R* corresponde ao resultado obtido pela aplicação do esquema  
*W*, *V* e *R* são vetores de reais no intervalo  $[0, 1]$ ;

Nesta definição estamos usando o conceito de que o 'significado' de um programa *P* pode ser representado por um vetor real que representa o resultado de um processamento. Em esquemas físicos simples esse procedimento se resume a uma ação. Enquanto em aprendizagem em redes neuronais de Kohonen, um esquema físico tem associado a ele uma variável  $\alpha$  ligada ao conceito de aprendizagem nesse tipo de rede, a qual é definida no intervalo  $[0.1, 0.7]$

Em nossa definição de esquema físico privilegiamos a idéia que consiste em separar o que representa uma evolução horizontal, onde esquemas se tornam mais e mais complexos mantendo, no entanto, sua forma básica, de outra vertical e criativa, na qual diferentes estruturas cognitivas são construídas por abstração reflexiva (Piaget, 1976).

Ações podem se tornar cada vez mais complexas, culminando em verdadeiros programas lógicos. Essa evolução é seqüencial e linear. Reservamos a expressão *meta-esquema* para estruturas mais complexas, que emergem do processo de abstração reflexiva, caracterizadas pela originalidade, como constatado por Piaget (apud Fagundes, 1988) em seus estudos sobre o desenvolvimento e, *esquemas-compostos*, para as construções lineares.

É preciso, finalmente, diferenciar o conceito de crença do que corresponde ao índice de avaliação de um esquema em aprendizagem, a qual é registrada, em nosso modelo, numa variável  $\vartheta$ . Esquemas em aprendizagem, por assimilação funcional, atingem um grau de eficiência que depende da avaliação, esquemas modificam-se até se estabilizarem e serem armazenados em uma rede neuronal classificatória. Crença é um conceito mais complexo que depende de diversas variáveis como o tempo desde a última ativação, que pode ser simulado por um decaimento exponencialmente seguido de um incremento a cada ativação, e outros fatores, tais como a crença geral em si mesmo, medida dentro do domínio de auto-observação.

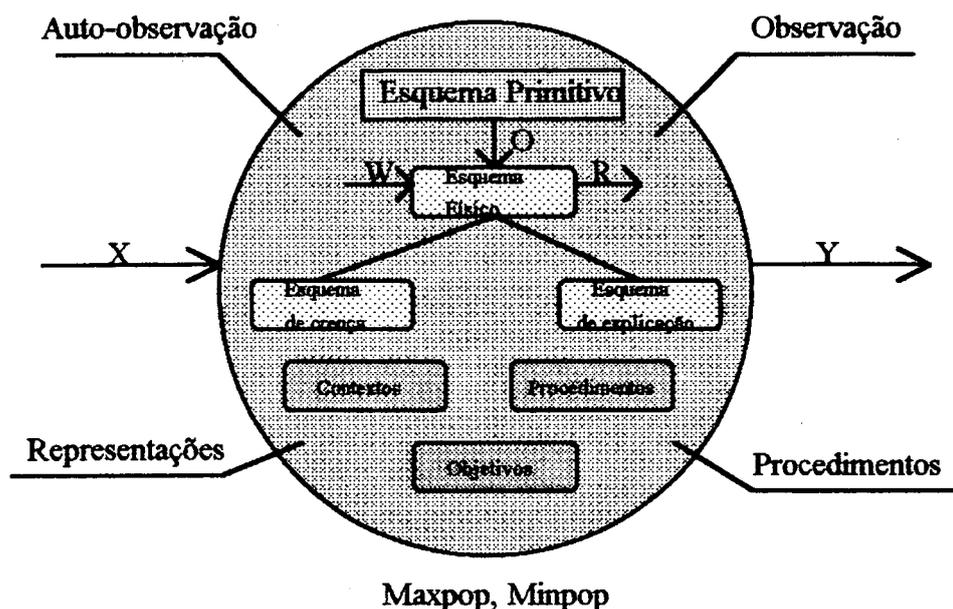


Figura 11.7 Agente Cognitivo

A figura acima mostra que a entrada de um esquema físico pode ser externa ao organismo; vetor  $X$  (*meio*) ou interna, proveniente do disparo de esquemas primitivos, vetor  $O$ , ou resultante, como veremos adiante, de outros processos internos à entidade. A cada esquema físico está associado um esquema de crença e, para todo esquema que já passou pela fase de aprendizagem, o qual passa a representar um fato conhecido do mundo, associa-se um esquema de explicação. Contextos, procedimentos e objetivos são armazenados.

O banco de dados que contém todos os diferentes tipos de esquemas pertencentes ao subsistema secundário de processamento é periodicamente acessado por programas pertencentes aos domínios de observação e auto-observação.

Representações são construídas traduzindo os conceitos aprendidos em uma Rede Semântica Intensional e os dados assimilados a esses conceitos são modelados sob a forma de uma Rede Semântica Extensional que vão compor o domínio linguístico da entidade. Da mesma forma, procedimentos são construídos no domínio de conduta.

No caso de acomodações, vários esquemas físicos podem competir pela ativação por estarem em condições de serem disparados. Este tipo de situação proporciona a base para a construção das estruturas de classificação posto que estes esquemas, capazes de responder a uma mesma entrada sensorial, constituem, em si, uma classe. Mais do que isso, os diferentes valores relativos à frequência desses disparos permitem uma classificação hierarquizada ou o estabelecimento de ligações semânticas dentro de uma rede entre os diferentes conceitos a eles associados. Essa rede semântica é intensional na medida em que relaciona conceitos e não instâncias associadas aos mesmos.

No caso de esquemas primitivos a ativação é independente do meio-ambiente, ocorrendo dentro de uma periodicidade dada por uma equação matemática que, em nossa simplificação, é estabelecida a priori posto que, de fato, poderia partir de uma definição associada aos mecanismos genéticos e, a partir daí, ser modificada construtivamente pela interação com o meio.

A entrada  $X(\text{agente})$ , como veremos adiante, é resultado de um pré-processamento difuso que avalia os imperativos do meio-ambiente, as necessidades internas da entidade e as restrições, definindo prioridades, atuando, portanto, como um regulador.

Tanto na fase de pré-processamento em que se deve decidir dentre as perturbações externas e internas pelas tarefas a executar como na fase de pós-processamento em que, mais uma vez, temos um problema de opção quanto a que atitude devemos tomar diante de uma situação, convém utilizar Lógica Difusa. Todas as decisões que tomamos são baseadas na escolha de alternativas e, na maioria das vezes, seguem heurísticas que são aproximações imprecisas da lógica clássica. Além disso, a própria complexidade da maioria dessas decisões sugere, normalmente, alguma abordagem estatística ou difusa. Escolhemos o paradigma difuso por entendermos que o mesmo é o que apresenta perspectiva de melhor representar tal fenômeno.

As entradas na dimensão cognitiva, como vimos, provêm do mundo exterior  $X(\text{meio})$ ; do processador primário onde esquemas primitivos são disparados; do processo de abstração reflexiva pelo qual a criança acaba por construir estruturas de ordem superior; de objetivos maiores definidos pelo próprio organismo; ou de conflitos internos que, segundo Piaget, vão provocar uma necessidade que conduzirá a criança à construção de lógicas cada vez mais elaboradas.

A saída da caixa 'teste de similaridade', mostrada na figura abaixo, avisa ao pré-processador de que existem conflitos podendo resultar, dessa sinalização, uma tarefa que consiste em acionar os domínios de observação e auto-observação para resolvê-los.

Da mesma forma, a abstração reflexiva é acionada quando existe uma 'desorganização' no banco de dados único onde estão contidos todos os esquemas da entidade. Essa desordem é avaliada periodicamente pelos domínios de observação e auto-observação podendo determinar uma tarefa do tipo 'arranjar o banco de dados'. Heurísticas existentes nestes domínios buscam uma forma criativa e original de representar as informações gerando, nesse processo, os meta-esquemas.

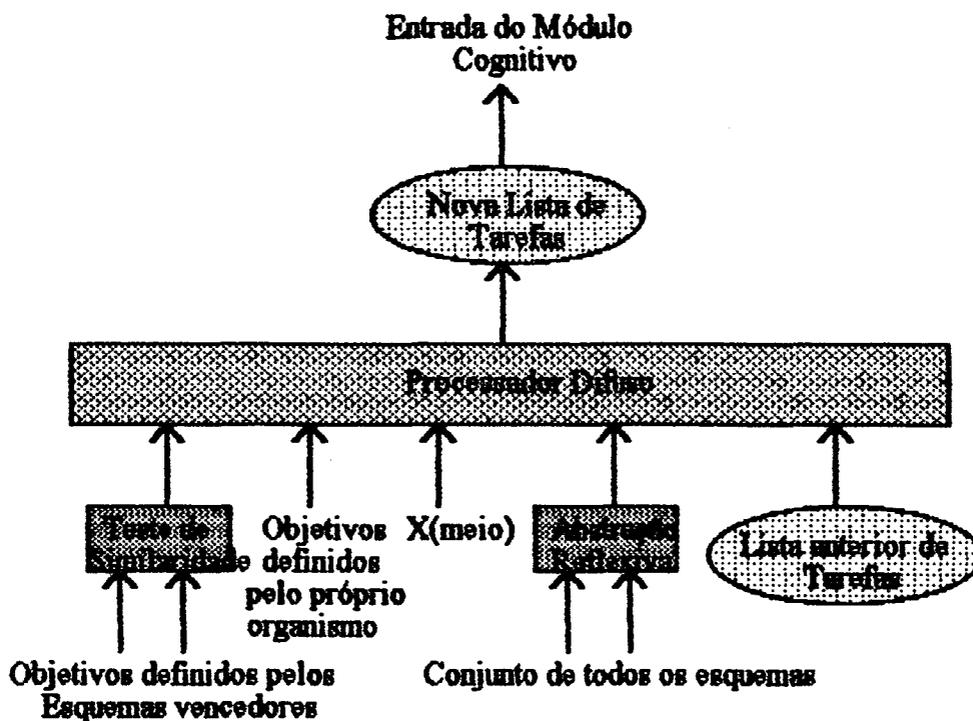


Figura 11.8 Tomada de decisão difusa quanto a tarefa a realizar.

O produto do pré-processamento (Fialho, dos Santos, 1994) é uma tabela que contém a lista das tarefas a serem realizadas, o esforço cognitivo a ser despendido e o tempo a ser dedicado a cada tarefa. Esta tabela é atualizada constantemente e, a cada vez que uma determinada atividade é preterida a mesma é fortalecida de forma a que haja maior probabilidade, na próxima rodada, de ser executada. Quando o tempo disponível se aproxima do tempo estimado para se encerrar a tarefa, a mesma recebe prioridade máxima tornando praticamente certa a sua execução. Se, ainda assim, por razões da própria característica difusa do processamento, a mesma não for realizada, ou seja, o tempo disponível é menor do que o tempo necessário, então a mesma é abandonada e um insucesso é assinalado pelo mecanismo. Tarefas em execução que, por imperativos ambientais, foram suspensas, também são privilegiadas.

Um esquema piagetiano é composto por um contexto sobre o qual se exerce uma ação esperando-se obter um resultado. Este resultado é representado por um vetor  $R$ , do mesmo tamanho de  $X$ , possivelmente com valores impróprios, que representa a situação prevista pelo esquema, ou seja, o novo  $X$  que espera receber do meio-ambiente. O vetor  $R$  é comparado a esse novo vetor de entrada  $X$  do agente, resultado da ativação do esquema, efetivando-se sua avaliação.

Um agente *Ag* constitui-se de uma estrutura que tem esquemas pré-programados correspondentes aos mecanismos genéticos que herda ao nascer. A partir desses vai tentar descobrir, via experimentação, quais são os esquemas existentes em seu meio-ambiente. Na arquitetura proposta, além da necessidade de se adaptar ao meio, o agente deve perseguir os objetivos traçados pelo processador primário que, além disso, atua como regulador, isto é: adaptação ao meio-ambiente, necessidades internas do organismo e restrições que devem ser respeitadas são analisadas e priorizadas por um processador primário que estabelece a ordem de execução e os recursos a serem alocados para cada tarefa.

Os esquemas primitivos e o pós-processamento difuso que busca um estado aonde se quer chegar tornam os agente, de entidades passivas buscando cegamente responder de forma adequada às funções do meio, em entidades ativas capazes, por si só, na ausência de qualquer estímulo externo, iniciar um processo de busca em que, ao final, alguma necessidade deva ser atendida. O critério consiste, portanto, em 'sempre realizar alguma coisa', priorizando-se as tarefas que dão mais prazer, *critério de prazer*; e aquelas cujo tempo para serem completadas são avaliadas como sendo iguais ao tempo disponível; *critério por tempo*.

O que caracteriza a teoria de desenvolvimento cognitivo de Piaget é o aspecto 'ativo' do agente e o fato de que esse desenvolvimento se caracteriza por '*descontinuidades*' que tipificam períodos, sub-períodos e estágios. O caráter ativo do agente é garantido, em nosso modelo, não só pela existência de esquemas primitivos que impelem o organismo a saciar suas fomes mas, também, pelo pós-processamento (Fialho, dos Santos, 1994) em que uma meta a ser atingida é definida dentro do domínio de observação, utilizando técnicas de programação dinâmica difusa, e estímulos adequados do meio ambiente que conduzam a esta passam a ser ativamente buscados pela entidade. A 'abstração reflexiva' é simulada dentro do domínio de auto-observação como uma ação a ser tomada em função do grau de desorganização do banco de dados que contém as estruturas cognitivas da entidade e que afetam seu desempenho, tornando cada vez mais lenta a sua resposta a estímulos externos ao domínio cognitivo (op. cit.).

#### 11.4 Abstração reflexiva e construção generalizadora

O tratamento de conflitos implica numa análise das representações internas que o indivíduo faz sobre o mundo. Dentro da arquitetura proposta esse tratamento é feito dentro do domínio de observação.

A abstração, por outro lado, é uma construção feita pelo indivíduo por um processo de reflexão, ou seja, uma observação sobre si mesmo que, em nosso paradigma, é realizada dentro do domínio de auto-observação. Esta é uma das razões de termos diferenciado *esquemas-compostos* e *meta-esquemas*. Uns são construídos linearmente, por agrupamentos de esquemas, enquanto os outros se constituem em verdadeiros 'insights' muito mais difíceis de serem compreendidos e, por isso mesmo, tratados computacionalmente.

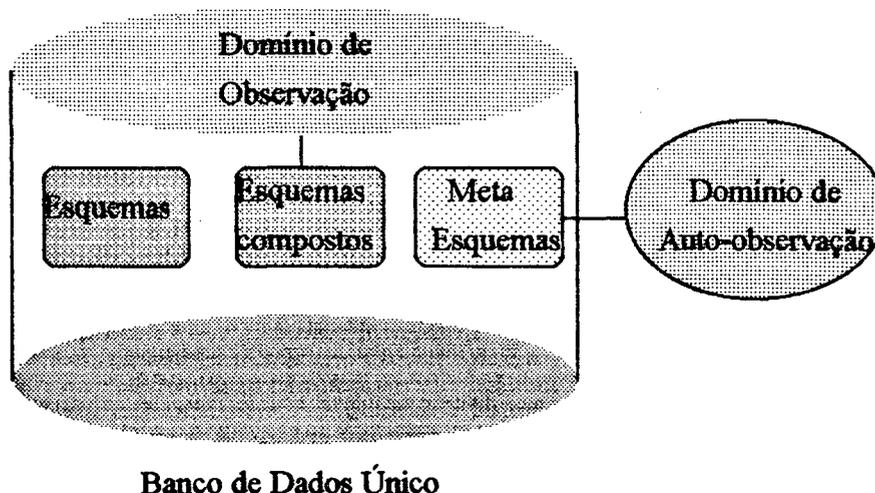


Figura 11.9 Esquemas existentes no domínio cognitivo

#### 11.4.1 Construção de esquemas-compostos pelo domínio de observação

O banco de dados do agente contém não só os diferentes esquemas que o mesmo possui, mas uma memória episódica, um sequenciador de eventos que registra toda a ontogênese da entidade. Este banco de dados é periodicamente acessado por programas em tempo real definidos a priori dentro do domínio de observação que constroem as seguintes tabelas baseadas nos esquemas que compõem o conjunto  $E_A$  dos esquemas que já aprenderam e dos bons esquemas, ainda em fase de aprendizagem, que compõem o conjunto  $E_B$ :

↳ Tabela I: Esquemas que, para contextos similares sugerem ações diferentes que conduzem a um mesmo resultado.

Imaginemos que temos dois esquemas  $e_1$  e  $e_2$  tal que  $X(e_1)$  e  $X(e_2)$  tem similaridade muito próxima a 1.0 e que, portanto, ao passarem pela rede neuronal de auto-associação, são reconhecidos como manifestações de um mesmo protótipo. Como  $P(e_1)$  é diferente de  $P(e_2)$ , pode-se deduzir que um deles corresponde a uma especialização do outro. Aquele que disparou mais vezes corresponde a um conceito (seja  $e_2$ ), ou classe, enquanto o outro (seja  $e_1$ ) corresponde a uma subclasse associada a esse conceito. Imaginando que esses conceitos já tenham sido aprendidos pela entidade, ou seja, façam parte da Rede Neuronal de Assimilação, pode-se construir um esquema  $e_1'$  correspondendo aos elementos do mundo assimilados por  $e_2$  mas não assimilados por  $e_1$ . Na prática, estas situações equivalem às classificações fracamente estruturadas<sup>5</sup> porque as ações (propriedades) de  $e_1$  nada têm a ver com as ações (propriedades) de  $e_2$ . Assim, a inclusão é obtida por mera observação da natureza e não por construção lógica propriamente dita.

<sup>5</sup>Como assinalado por Wazlawick, 1993

Uma categorização relativa é uma estrutura que comporta um gênero, uma espécie e uma espécie complementar, composta pelos indivíduos que pertencem ao gênero, mas que não pertencem à espécie.

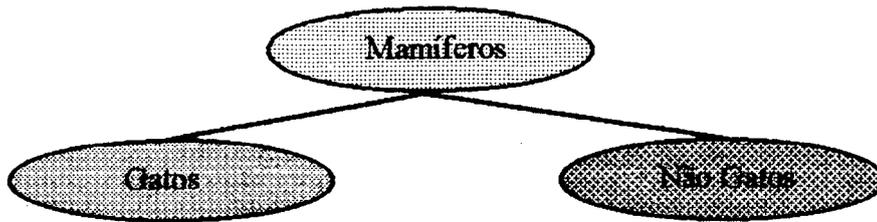


Figura 11.10 Encaixes de campos conceituais

Uma segunda alternativa ocorre quando tanto e1 como e2 disparam com a mesma frequência, ou seja, é aparentemente indiferente o procedimento a ser adotado. Essa informação, como toda a informação, é importante e pode ser utilizada para compor um esquema-composto do tipo <contexto: procedimento 1 ou procedimento 2: resultado>.

↳ Tabela II: Esquemas que, para contextos similares sugerem ações diferentes que conduzem resultados diferentes.

Esta situação pode corresponder a um observável do mundo cujas diferentes propriedades podem ser empregadas para se atingir resultados diferentes. Em outras palavras, se eu observo um elefante posso associar a esse contexto o procedimento 'alimentar o elefante' obtendo, como resultado, 'um elefante satisfeito', ou posso utilizar o procedimento 'montar no elefante' com o resultado 'chegar em algum lugar'. Essa informação, em outras palavras, serve para se construir uma rede semântica onde diferentes ações podem ser aplicadas a um determinado nó ou conceito, conduzindo-nos a um outro estado correspondendo a um novo conceito.

Nesse caso, cabe à dimensão de auto-observação, construir um símbolo associado a esse contexto. No caso de termos, já armazenado no banco de dados, um 'significante', ou seja uma palavra para identificar o símbolo, o mesmo é construído tendo como significado as diversas relações metonímicas e metafóricas definidas pelos diferentes procedimentos e resultados associados ao contexto. No caso de não se ter ainda um significante, o domínio de auto-observação encaminha ao cognitivo uma mensagem que é pré-processada conforme definido na figura 11.8 e passa a monitorar a obtenção desse significante pela entidade.

A construção do símbolo marca uma diferença fundamental no comportamento cognitivo da entidade. Os símbolos afastam o homem do natural, cujo acesso passa a ser, por eles, mediado. Essa mediação é representada pelo modelo por mais um mecanismo. Um mecanismo de reconhecimento simbólico que é construído pelo domínio de auto-observação.

A atuação desse mecanismo consiste em definir novas metonímias com base em relações tipo 'é parte de', etc. e metáforas, tipo 'parece com', etc. que melhoram sua compreensão, ampliando o significado.

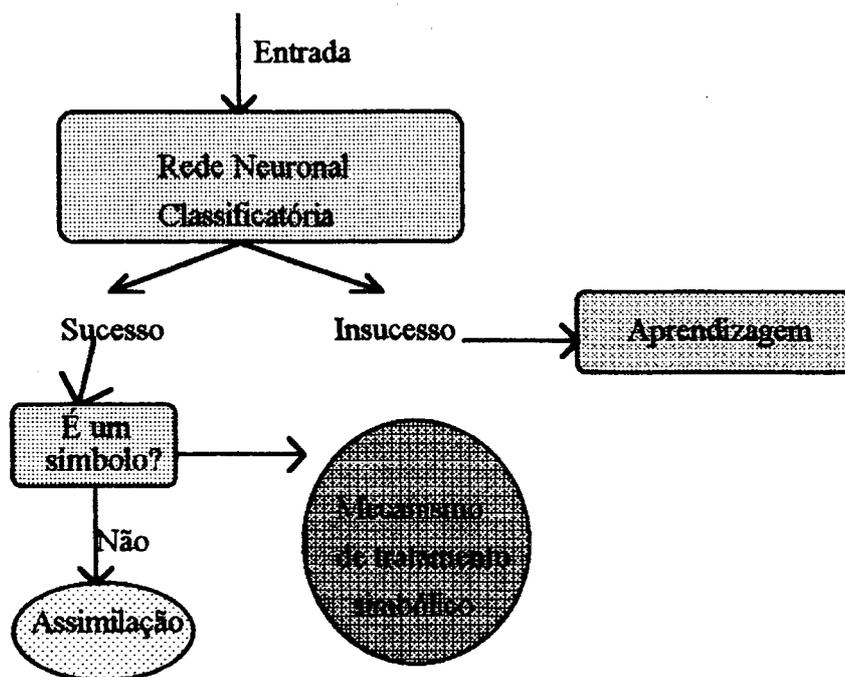


Figura 11.11 Mecanismo de tratamento simbólico

↳ Tabela III: Esquemas que, para contextos diferentes sugerem uma mesma ação que conduzem a um mesmo resultado.

Pode-se imaginar que os resultados alcançados pela aplicação desses esquemas correspondam a estados desejados pelo organismo. Da mesma forma a existência de bons esquemas desse tipo sugerem que as ações correspondentes possam se compor em heurísticas gerais para se responder a contextos não familiares à entidade. Esses esquemas podem ser empregados, ainda, sob a forma < #: ação: resultado>, como componentes da 'loja de esquemas' que é empregada dentro do paradigma associado aos algoritmos genéticos para criação de novos esquemas.

↳ Tabela IV: Esquemas que, para contextos diferentes sugerem a mesma ação conduzindo a resultados diferentes.

Da mesma forma que para os esquemas da tabela III, pode-se imaginar que as ações componentes desses esquemas correspondam a heurísticas ainda mais gerais e primitivas de respostas adaptativas a situações do meio ambiente. Esses esquemas, sob a forma < #: ação: #> também são candidatos não só a construção de novos esquemas dentro do paradigma dos algoritmos genéticos como base de uma construção das diferentes heurísticas, não tratadas com profundidade no presente trabalho.

↳ Tabela V: Esquemas que, para contextos diferentes sugerem ações diferentes que conduzem aos mesmos resultados.

Esta tabela sugere que existem um conjunto de resultados, ou objetivos, que são constantemente perseguidos pelo organismo durante a sua ontogênese. De certa forma se parecem com as fomes que definem os esquemas primitivos. Sugere-se que a construção de novos esquemas primitivos possa se dar a partir da consolidação desses objetivos e do estudo da frequência com que eles são perseguidos. Tabelas de emoções podem ser correlacionadas a esses novos esquemas com base no registro histórico referente à sua aplicação. A negação desses resultados pode, ainda, ser a base para a construção de novos esquemas dentro do Espaço de Restrições..

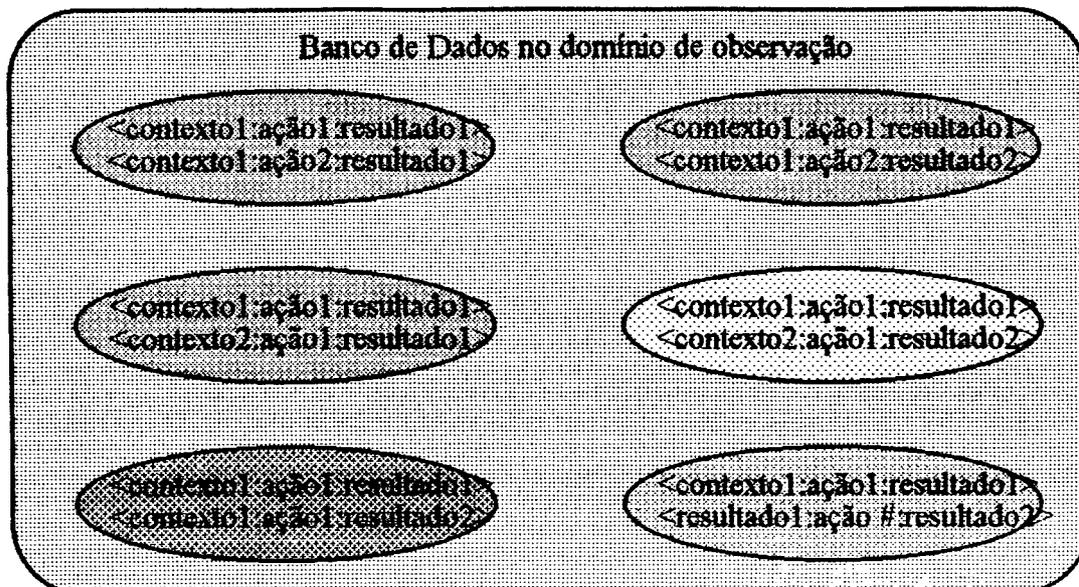


Figura 11.12 Tabelas construídas por programas existentes no domínio de observação

↳ Tabela VI: Esquemas que, freqüentemente, são disparados seqüencialmente.

Os relacionamentos assimétricos consistem de seriações de conceitos ou observáveis. Como os esquemas representam conceitos e observáveis, pode-se pensar em seriações de esquemas. O caso básico de seriação de esquemas pode ser buscado no relacionamento temporal entre esquemas.

O exame feito dentro do domínio de observação limita-se a agrupar dois a dois, três a três, etc. esquemas que disparam freqüentemente em seqüência. Não se analisa aqui o fato de um esquema  $e1$  ser capaz de criar condições para a ativação de um esquema  $e2$ , ou seja, de  $V(e1)$  ser igual a  $W(e2)$ , ou seja, o resultado previsto pela ativação do esquema  $e1$  corresponder exatamente às condições de ativação do esquema  $e2$ .

O simples fato de esquemas freqüentemente serem disparados em seqüência sugere que se pode criar um esquema-composto do tipo <contexto definido por  $e_1$ : procedimento 1 seguido do procedimento 2 seguido .... procedimento  $n$ : resultado definido pelo esquema  $e_n$ >. Pode-se associar, ainda, esse esquema-composto como sendo uma estrutura de seriação onde se privilegia a experiência obtida no mundo em detrimento a qualquer 'raciocínio'.

Enquanto esquemas de primeiro nível (cujo procedimento se reduz a uma ação simples) representam conceitos relacionados à conteúdos exógenos, os esquemas-compostos representam conceitos relacionados à uma coordenação de esquemas. Um esquema-composto pode representar, por exemplo, uma relação causa/efeito, diretamente observada no mundo real entre duas ações. Esse mecanismo, dentro da nossa arquitetura, está contido no domínio de observação da entidade autopoiética e é disparado por conflito ou por tempo, se constituindo numa heurística geral que corresponde a aplicação do processo de 'cisão', dos operadores 'e' e 'ou' lógicos; etc.

#### • Definição formal de esquema-composto

A única diferença estrutural entre um esquema e um esquema-composto diz respeito ao procedimento  $P$ , que tanto no caso de um esquema-composto tipo 'ou' quanto no caso de um esquema-composto tipo 'e' corresponde a uma combinação das ações de esquemas ou de esquemas-compostos. Um esquema-composto  $m$  de nível  $n$  é uma estrutura da forma:

$$m = (W, P, R, \text{crença})$$

em que:

$W$  é um vetor de reais no intervalo  $[0,1]$  correspondendo ao contexto associado ao primeiro esquema de uma cadeia 'e' ou ao contexto comum de esquemas que compõe uma estrutura tipo 'ou'.

$P$  é um procedimento 'e' ou 'ou', conforme o caso, aplicado a um conjunto de esquemas (-compostos)  $(e_1, e_2, \dots, e_n)$  onde dentre  $e_1, e_2, \dots, e_n$  o nível mais alto é  $n-1$ .

$R$  é um vetor de reais no intervalo  $[0,1]$ ; correspondendo ao resultado associado ao último esquema de uma cadeia tipo 'e' ou ao resultado comum do conjunto de esquemas de uma cadeia tipo 'ou'

$$\text{crença} = \min(\text{crença}(e_1, e_2, \dots, e_n))$$

#### • Integração dos esquemas-compostos ao Agente

Os esquemas-compostos criados pelo processamento do domínio de observação são automaticamente acrescentados ao banco de dados e seguem as mesmas regras criadas para esquemas simples que já realizaram aprendizagem e são incorporados à rede neuronal classificatória.

### ☛ Criação de um esquema-composto

A criação de esquemas-compostos ocorre em paralelo ao ciclo principal de interação, sendo de responsabilidade do processador que faz o papel de dimensão de observação. Em termos gerais, tal processo consiste em:

- identificar os esquemas que podem ser seriados e criar um esquema-composto para tentar efetivar esta seriação.
- construir um protótipo para um conjunto de esquemas vencedores.

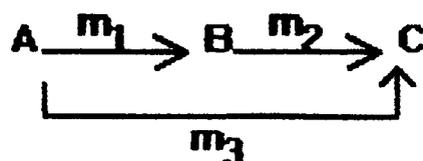
#### 11.4.2 Construção de meta-esquemas pelo domínio de auto-observação

O mecanismo de 'abstração reflexiva' está situado, dentro do modelo proposto, no domínio de auto-observação e é disparado sempre que se atinge a um 'limiar de desarranjo da entidade'. Se as tabelas existentes dentro do domínio de observação ou os conjuntos de esquemas pertencentes ao domínio cognitivo estiverem muito populadas, isto pode significar uma perda de flexibilidade da entidade em responder às suas necessidades adaptativas. Ainda que a população de esquemas em aprendizagem seja mantida dentro de limites, o mesmo não acontece com o conjunto dos esquemas que já aprenderam.

Suponha que *e1* tenha como contexto uma sensação *A*, correspondendo a um conceito qualquer, por exemplo um relativo a um cachorro chamado Scooby, o qual foi criado pelo agente e que é definido por *e1*, na forma <Scooby: levar Scooby para passear: ver Karen>. Suponha ainda que a situação prevista por *e1* seja tal que os observáveis *B* do esquema *e2* <Karen: Karen vê Scooby: Karen late> estejam presentes. Aplicar o esquema-composto *m1* corresponde a aplicar *e1* e *e2* em seqüências. Da mesma forma, suponha que *e2* preveja uma situação na qual os observáveis *C* do esquema *e3* <Karen late: Scooby ouve: Scooby late> estejam presentes. O esquema-composto *m2* corresponde a aplicar *e3* depois de *e2*. Neste caso, a seriação completa representada por *m1* e *m2* corresponde à seguinte estrutura que é um meta-esquema, na medida em que se transcendeu à forma e algo novo foi criado dentro da entidade.:

$$\begin{array}{ccccc} A & \xrightarrow{m1} & B & \xrightarrow{m2} & C \\ e1 & & e2 & & e3 \end{array}$$

Nesta estrutura, os esquemas representam os conceitos ou objetos extra-lógicos e os esquemas-compostos fazem o papel de relacionamentos de seriação entre os esquemas. O esquema-composto *m3* que consiste em aplicar *e1*, *e2* e *e3* em seqüência reúne os dois relacionamentos parciais em um todo:



Esta composição consiste em uma das construções mais básicas da lógica operatória. As combinações de estruturas 'e' e 'ou' permitem construir toda a lógica das classes e das relações, e a partir destas, da lógica matemática e da série dos números ordinais (Piaget, 1971)<sup>6</sup>.

Dissemos que a construção de meta-esquemas seria realizada pela ativação de ferramentas construtoras pertencentes à dimensão de auto-observação. Mais ainda, pretendemos que dela se originem os 'estados emocionais'.

Observar a si mesmo é um processo recursivo que consiste em 'olhar' dentro de um banco de dados e atualizar a representação que fazemos de nós mesmos. Essa representação deve ser construída desde a primeira vez em que os mecanismos são acionados e consiste em:

- analisar o grau de ordem ou desordem das representações que fazemos do mundo
- analisar o grau de sucesso obtido em atingir as metas que traçamos
- associar esses valores a uma tabela de 'estados emocionais'
- atualizar, em função do 'estado emocional' presente, as crenças associadas aos diversos esquemas e esquemas-compostos
- a partir de um limiar de insatisfação consigo mesmo, relacionado ao 'estado emocional' presente, re-arranjar criativamente as informações contidas no Banco de Dados em outras formas de representação, sem eliminar as anteriores
- definir novos esquemas primitivos
- definir, no espaço de restrições, coisas que devem ser consideradas nos processos de tomada de decisão pelo organismo
- observar a si mesmo executando essas atividades, de forma recursiva.

Meta-esquemas, para nós, são estruturas que vão além da mudança de conteúdo, da alteração de um grau de complexidade. A construção de meta-esquemas envolve, criatividade, 'insights' quanto a formas diferentes de realizar determinada tarefa, resolver um problema, manipular um objeto, etc. A motivação para uma busca desse tipo se dá sempre que não conseguimos resolver um problema pelos métodos usuais.

O mecanismo proposto recebe essa motivação de uma tabela de 'estados emocionais' que é construída a partir da análise do grau de sucesso da entidade em se adaptar ao meio-ambiente. Esses mecanismos devem ser capazes de explicar como possuímos em nosso cérebro, além dos esquemas tipo <contexto: procedimento: resultado>, estruturas como 'frames', 'scripts', 'os diferentes tipos de lógica', etc.

O Espaço de Restrições, além de possuir esquemas de coisas que não devem ser feitas diante de um contexto recebe, da dimensão de auto-observação, os esquemas éticos associados às configurações do mundo e do agente, que maior pontuação recebem na tabela de 'estados emocionais'.

<sup>6</sup>Isso é demonstrado por Wozniak, 1993

A partir desses esquemas, restrições são construídas visando reconduzir o organismo a tais situações. Novas fomes são também geradas dentro desta dimensão posto que é ela quem domina toda a realidade construída pela entidade autopoietica. Como já ressaltamos anteriormente, não é nossa intenção completar o modelo. O que se demonstrou, até aqui, foi a potencialidade do mesmo em responder às questões normalmente levantadas quando se propõe alguma solução para o problema de simular seres humanas por máquinas inteligentes

### 11.5 Algoritmos genéticos como mecanismo de criação de novos esquemas

Dentro da arquitetura proposta toda a construção se sustenta no paradigma associado aos algoritmos genéticos. Nessa técnica, um sistema classificador clássico é usado sempre que o *meio-ambiente varia*, e tudo o que se tem é alguma informação do tipo '*está frio ou quente*', ou seja, a cada instante o ponto ótimo para onde se dirigir se desloca de posição. Um exemplo de tal sistema é mostrado na figura abaixo (Holland, edição de 1993).

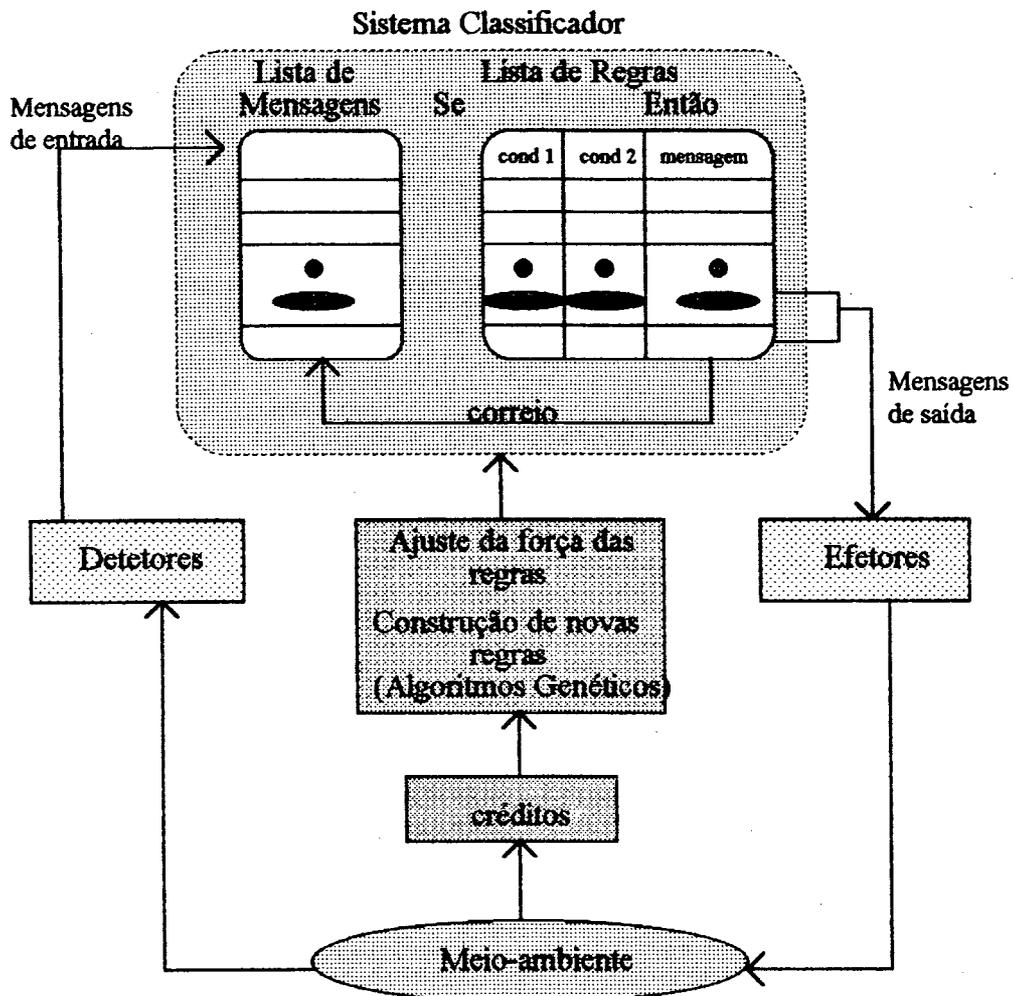


Figura 11.13 Um sistema classificador clássico

As mensagens de entrada correspondem ao nosso  $X(\text{melo})$ , que pode representar, por exemplo, impulsos registrados pelos cones e bastonetes associados à visão. Se, através de  $X(\text{melo})$ , sabemos que existe um objeto à esquerda, então o conjunto de regras nos diz que devemos enviar uma mensagem aos efetores que faça a entidade olhar para a esquerda. Cada regra é um processador de mensagens e pode ser uma negação do tipo, 'desde que não exista tal mensagem na entrada' faça tal e qual coisa. Sistemas classificadores são sistemas computacionalmente completos (op. cit.).

O *paralelismo* da arquitetura permite que várias regras e mensagens sejam ativadas ao mesmo tempo. A *competição* se centra num algoritmo pelo qual são atribuídos valores, denominados *força*, os quais são uma medida histórica da importância da regra para o sistema. Regras são tratadas como hipóteses. Regras que perdem sua força são substituídas utilizando-se algoritmos genéticos.

Um tipo de sistemas classificadores utilizada por Holland (op. cit.), o *Echo*, foi empregada por Dawkins (1986) para simular uma verdadeira 'corrida biológica'. Um agente, nesta arquitetura possui *chromossomas* e um *reservatório de genes* que podem ser obtidos de '*fontes de genes*' existentes no meio-ambiente. A interação entre agentes é determinada por uma sequência simples de teste efetuados sobre *etiquetas* (atacar, defender, casar); *condições* (combater, trocar, casar) e *enzimas* que determinam a capacidade de um agente capturar outros recursos do meio-ambiente.

Sistemas complexos adaptativos formam e utilizam modelos internos para antecipar o futuro. Em nossa modelagem, a cada instante, o organismo determina um objetivo a atingir, com base em sua ontogênese. A teoria geral por nós proposta para esse tipo de sistemas se suporta em seis mecanismos básicos: *Paralelismo*, *competição*, *recombinação*, *iniciativa*, *construção linear* e *abstração reflexiva*. O *paralelismo* permite que o sistema se utilize de indivíduos (regras, agentes, esquemas, meta-esquemas, etc.) como blocos de construção, ativando conjuntos de indivíduos para descrever e/ou agir sobre situações em constante mudança. A *competição* permite ao sistema gerenciar suas capacidades em ambientes realísticos onde torrentes de informações irrelevantes à adaptação são capazes de iludir o sistema. Essa competição está na essência de todos os paradigmas empregados por nós nessa modelagem. A *recombinação* promove o processo de descoberta gerando novas regras plausíveis a partir de regras testadas, esquemas que têm um significado não apenas matemático mas físico, etc. A *Iniciativa*, a *construção linear ou horizontal* e a *abstração reflexiva*, básicas a uma modelagem piagetiana, são garantidas pela construção e atualização de modelos internos do mundo, elaboradas no domínio de observação, por modelos internos de si próprio, construídos dentro do domínio de auto-observação e pelas 'fontes' definidas no subsistema primário de processamento.

Para construir um sistema classificador, como vimos, precisamos de mensagens externas; uma lista interna de mensagens 'conhecidas' pelo organismo e regras de processamento dessas mensagens internas capazes de gerar mensagens internas ou externas que se candidatem a serem encaminhadas aos efetores.

Como muitos classificadores podem disparar para um mesmo estímulo, é necessário, ainda, um mecanismo que permita estabelecer uma competição capaz de escolher uma mensagem vencedora.

Essas mensagens externas correspondem à saída de um pré-processamento difuso idêntico ao definido no modelo neuronal. A lista de mensagens conhecidas pelo agente corresponde ao conjunto  $C$  de contextos 'conhecidos' e o conjunto de regras é do tipo *Se a mensagem que chega é conhecida, dispare o procedimento  $X_i$  na esperança de que um novo contexto  $C_i$  se estabeleça*. O mecanismo de competição se sustenta no paradigma clássico, onde cada regra apresenta uma proposta que vai ser avaliada numa espécie de concorrência. A proposta feita por uma regra  $r$ , de força  $s(r)$  é dada por:

$$Proposta(r) = const. \times s(r) \times \log_2[especificidade(r)]$$

Nesta equação, *const.* é um valor menor do que 1, em que 0.1 é o valor classicamente utilizado, a especificidade mede a quantidade de informação que uma regra traz acerca da situação atual e a força, como vimos, é uma medida de quão útil essa regra foi no passado.

Usualmente diversos vencedores ganham uma competição. Isso é obtido aceitando-se, por exemplo, todas as propostas acima de determinado valor. A vantagem dessa estratégia é que o paralelismo daí resultante pode ser explorado.

As regras diretamente envolvidas em ações corretas são fortalecidas. Quando uma regra ganha uma competição ela paga o valor de sua proposta para a regra que enviou a mensagem que a fez disparar. Essas regras são denominadas de *supridoras* enquanto que aquelas regras que satisfazem as condições decorrentes de sua aplicação são chamadas de *consumidoras*. Tudo se passa como se a força de uma regra fosse o seu capital e a proposta o quanto desse capital vai ser pago a seus supridores.

Essas regras vencedoras recuperam o seu capital de duas formas. Elas podem originar regras vencedoras dentro do conjunto de suas consumidoras e delas receber o valor de suas propostas ou podem estar ativas quando o sistema recebe dinheiro do meio-ambiente. Esse dinheiro é rateado por todas as regras que estiverem ativas naquele período.

O processo de geração de novas regras é baseado no conceito de 'schema' (capítulo sétimo). A força de cada regra é interpretada como um grau de adaptação. O paradigma relativo aos algoritmos genéticos é então aplicado e novas regras são geradas. A utilidade de qualquer 'schema' pode ser estimada como a média das forças das regras observadas que são instâncias do mesmo. Esse mecanismo faz com que, a medida que o classificador vá acumulando experiência, verdadeiras hierarquias de 'schemata' sejam construídas que vão desde regras baseadas em contextos simples até camadas de regras de exceção, capazes de lidar com informações quanto a contextos bem mais detalhados.

Quando uma mensagem dispara, ao mesmo tempo, regras simples e essas regras mais complexas de exceção, essas últimas tendem a vencer as competições pelo seu grau de especificidade. *Como essas camadas sucessivas de regras de exceção só são acrescentadas quando informações vindas do mundo exterior ou perturbações internas à entidade ocorrem, elas servem para modelar não só o mundo exterior como o próprio agente.*

Consideremos uma regra  $r$  com uma condição da forma  $11## \dots ##$ . Qualquer mensagem que comece com dois 1 satisfará essa condição. Se esse prefixo 11 é reservado para a regra  $r$  exclusivamente, isto significa que qualquer mensagem que comece por 11 será dirigida a  $r$  e somente a  $r$ . Esses prefixos reservados são denominados de 'etiquetas'. Regras que possuem a mesma 'etiqueta' formam *constelações*. O uso inteligente dessas etiquetas permitem, ainda, que regras sejam acopladas de forma a atuar seqüencialmente.

Os algoritmos genéticos podem ser utilizados, ainda, para recombinar partes das etiquetas estabelecidas criando, dessa forma, novas etiquetas. Desta forma, novas constelações de regras são construídas, assim como novas relações entre constelações. A sobrevivência ou não das regras associadas a essas etiquetas são definidas pelas suas contribuições em interações úteis. Essas construções lembram os símbolos ativos de Hofstadter (1980) e podem ser usadas na construção de hierarquias. Um classificador está constantemente tentando equilibrar o processo de aquisição de capacidades e novas informações do meio ambiente com a utilização eficiente das informações e capacidades já adquiridas para responder, instante a instante, às mudanças ocorrendo no meio-ambiente.

Até agora, no entanto, o que temos é uma população de esquemas primitivos que, metaforicamente, podem ser vistos como itens de um cardápio de 'restaurante' e esquemas físicos em aprendizagem na rede de Kohonen, que são armazenados em *lojas*, onde aqueles que apresentam uma história de boas avaliações são cotados por um preço mais alto que aqueles que apresentam baixa avaliação. Os objetivos que foram perseguidos pela entidade durante a sua ontogênese são arquivados em uma *'empresa de viagem'* onde cada roteiro é guardado junto com a história de sucesso ou insucesso associada à aventura. A cada vez que um esquema é acionado fazendo com que uma entidade mude de um estado  $A$  para um estado  $B$ , uma nova *'habitação'* é construída para representar esse novo estado. Cada uma dessas habitações é uma modelagem interna, uma representação de si mesmo e do mundo. Os procedimentos executados pelo organismo são catalogados em um *'banco de procedimentos'* e os diversos contextos aos quais o mesmo necessita se adaptar são encaminhados ao *'correio'* onde é verificado se seu endereço corresponde a alguma *'região'* conhecida e, dentro dessa região conhecida, se já possui uma *'caixa postal'*. Se não essas mensagens são armazenadas em uma *'urna de mensagens não reconhecidas'*. Os esquemas físicos que já passaram pelo período de aprendizagem e que são utilizados para formar a rede neuronal classificatória responsável pelas assimilações se constituem em *'hotéis'* e os elementos do mundo por eles assimilados são os *'hóspedes'* desses hotéis.

Esta analogia que estamos propondo, que é comum na literatura, objetiva representar de forma didática, os conceitos associados a cada um dos habitantes do universo formado por um agente cognitivo e o seu meio-ambiente. Para completá-la, no entanto, é preciso acrescentar, ainda, esquemas de crença, que são, evidentemente, guardados em uma 'igreja' e esquemas de explicação, que como não poderia deixar de ser, vivem na 'universidade'. Os símbolos construídos ao longo da ontogênese autopoietica são as 'estradas de acesso' nas quais são examinados tudo o que chega a cidadela do 'eu', mediando o acesso ao real. Temos, além disso, a 'incubadora', onde se dá o processo de abstração reflexiva, a 'sala de produção', que usa as heurísticas que são construídas pela entidade ao longo de sua ontogênese, uma 'creche-maternidade', responsável por construções genéticas; o 'orfanato' formado por esquemas que são construídos por algoritmos outros que os genéticos e a 'casa dos anciãos' onde são recebidos esquemas de todos os tipos, heurísticas, procedimentos, etc. que não são utilizados a muito tempo.

#### Construção dos sistemas classificadores

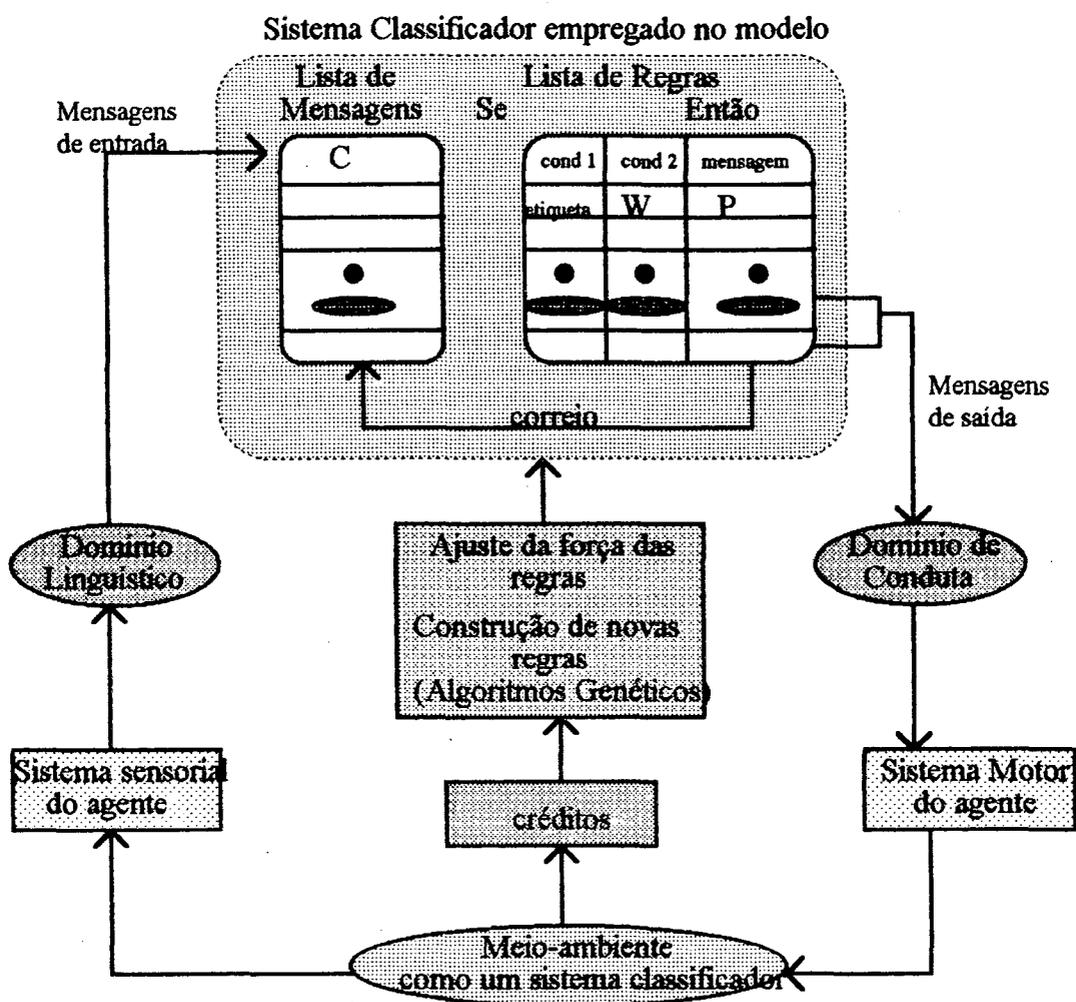


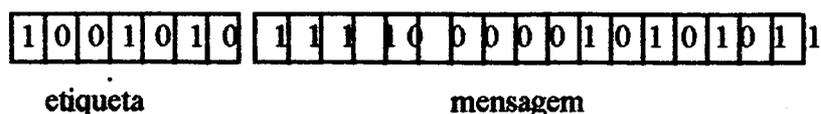
Figura 11.14 Sistema Classificador utilizado no modelo

### © Mensagens, correio, regiões e caixas postais

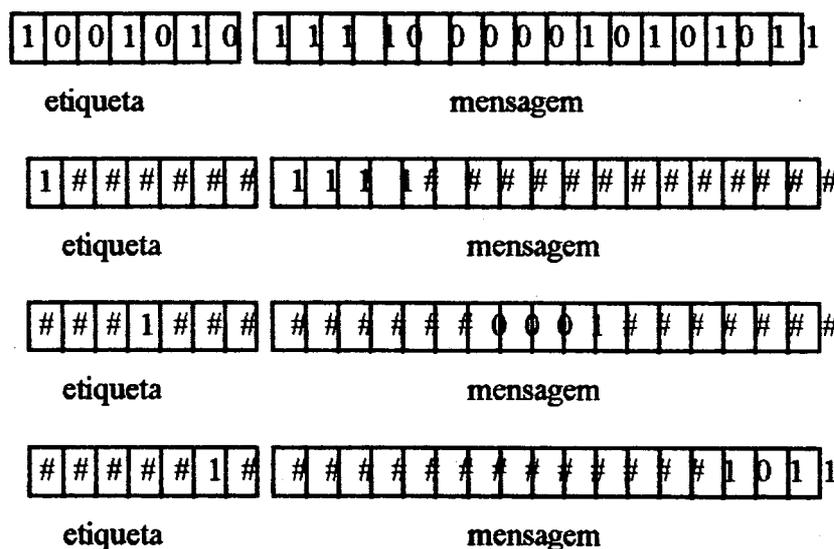
A interação entre o agente e o meio-ambiente se efetua por trocas de mensagens. Cada mensagem tem uma *etiqueta* e um *endereço*. Na modelagem de entidades autopoiéticas similares a nós, herdamos uma série de construções, esquemas inatos que nos garantem a sobrevivência no mundo.

Como vimos (capítulo terceiro), os mecanismos construtores inatos partem de uma assimilação funcional pela qual exercitamos os reflexos, a assimilação generalizadora que nos permite a construção de novos esquemas e a assimilação recongnitiva onde se ensaia o processo de intensionalidade.

As primeiras etiquetas, inatas, correspondem a espaços sensoriais que vão ser populados por regras pela aplicação das heurísticas acima descritas. Tomemos, por exemplo, a seguinte mensagem chegando do meio ambiente:



A etiqueta nos diz que a mensagem é visual (primeiro 1), não há contato físico, nenhum som (zeros na segunda e terceira posições), existem odores associados à informação (1 na quarta posição), etc. A etiqueta deve ser de um tamanho arbitrário mas tal que possibilite que tudo o que possa ser percebido pela entidade autopoiética acrescido de uma margem adicional para o que não é percebido por falta de aparelhagem sensorial adequada possa ser representado. A cada 'bit' da etiqueta corresponde um trecho de mensagem.



Esta mensagem, ao chegar no correio, é checada para ver se corresponde a algum símbolo, conceito já construído ou se corresponde a algum item da loja onde esquemas estão aprendendo. Esses esquemas em aprendizagem, conforme proposto por Piaget (capítulo terceiro), têm a seguinte forma para o contexto:

Quando uma mensagem chega ao correio ela é copiada e cada caixa postal a ela associada recebe uma cópia da mesma. A etiqueta define uma espécie de região onde contextos mais ou menos comuns, como no caso (visuais, auditivos, etc.), vão ser tratados. Todos os esquemas que recebem mensagens são disparados, aplicando-se os atos reflexos associados por assimilação generalizadora. Os resultados desejados (afastar o objeto, segurar, sugar o leite e se sentir saciado, etc.) são comparados com os resultados obtidos e um aumento ou decréscimo de valor é atribuído aos esquemas da loja. Toda a vez que atua a assimilação recognitiva um índice de prazer é incrementado, simulando a motivação pela descoberta e aquele esquema será usado preferencialmente na próxima ocorrência do fenômeno para o qual o mesmo foi disparado. No caso de ninguém visitar a loja, ou seja, não chegarem mensagens, um mecanismo baseado em tempo, simula a assimilação funcional.

### © Hotéis e Estradas

Toda a vez que uma mensagem chega ao domínio cognitivo a mesma é testada para se verificar se corresponde a algum símbolo. Se corresponder a um símbolo isto significa que a estrada por onde ela chegou à cidadela do 'eu' é conhecida e a informação contida é assimilada e serve para ampliar o significado do símbolo. Essa mensagem passa a ser hóspede do hotel cinco estrelas associado ao símbolo. Caso a mensagem seja assimilada por algum conceito da rede neuronal classificatória, como um exemplo desse conceito, a mesma vai residir no hotel de menor categoria associado àquele conceito.

Como vimos, a resposta do ambiente as vezes não corresponde a expectativa. Isto se dá porque, como vimos, o ambiente está também se modificando em processos de assimilação e acomodação ou mesmo porque podemos estar diante de um fato novo. Na recepção do hotel é feita essa avaliação. Se o resultado esperado não se verifica, uma loja de classificadores é construída e uma espécie de gincana da qual participam todos os hóspedes do hotel, inclusive o recém chegado vai construir um novo conceito ou um novo símbolo. Um novo hotel é então construído. Cada hóspede paga uma diária e, dessa forma, a importância do hotel pode ser determinada pelo seu capital. O tempo de existência de um hotel e o seu capital são os fatores que permitem avaliar a importância do mesmo para a entidade.

Um problema inerente a qualquer modelagem matemática de fenômenos físicos ou biológicos consiste em que uma solução deve sempre ter um significado, ou seja, deve corresponder a algo real, ou seja, cada geração de filhos deve ser testada para saber se o filho gerado corresponde a uma realidade ou não passa de uma abstração matemática. Esse problema se assemelha ao que se encontra quando se aplicam os algoritmos genéticos para resolver problemas em pesquisa operacional.

A simples eliminação de um filho por estar numa região proibida pode implicar em perda importante de material genético. Um estudo interessante sobre o que fazer em tais situações foi desenvolvido por Richardson (1989).

### ⊗ Habitações e empresas de viagem

A cada instante a entidade, através de um pós-processamento difuso, avalia o seu estado atual (habitação) e determina os objetivos que pretende atingir (Fialho, dos Santos, 1994) (habitação a construir). Uma loja de classificadores é construída a cada instante com os dados do mundo e do agente. Dessa forma a entidade pode simular o que ela acredita que deva fazer para atingir determinado objetivo. É como se tivéssemos pares de classificadores como os discutidos no capítulo sétimo. Um resultado desejado corresponde a um estado que se deseja atingir.

A técnica mais usual consiste em se partir do resultado e do objetivo simultaneamente. Um par de trajetórias que ajuste os desejos do organismo às restrições do ambiente que terminem no primeiro ponto comum é chamada de trajetória de compromisso  $x_k = (p_k, s_k)$ . O ponto final  $s_k$  em comum de ambas as trajetórias é chamado de compromisso. Trajetórias de compromisso descrevem ajustes bem sucedidas.



Figura 11.15 Criação de uma loja de classificadores para atingir determinado estado desejado pela entidade

Para cada classificador em cada trajetória de compromisso nós atribuímos um valor de adaptação. Portanto, se um classificador "c" contribui para diferentes trajetórias de compromisso a ele é atribuído um grau maior de adaptação. A adaptação de "c" é proporcional à frequência de ocorrência de "c" em trajetórias que conduzem a compromissos.

O problema portanto, é o de encontrar o caminho que mais frequentemente conduz ao sucesso. A existência de uma solução é óbvia, bastaria percorrer exaustivamente todos os caminhos e selecionar os classificadores mais ajustados. Apesar disso, a construção desta solução é computacionalmente intratável.

A fim de lidar com um espaço de busca gerenciável computacionalmente, devemos confiar em uma amostra de classificadores. Esta amostra é modificada construtivamente por meio de operações genéticas. Para este fim devem ser introduzidas operações genéticas específicas, adequadas para cada problema.

Os classificadores filhos representam uma regra nova, recém criada. Neste ponto, a contribuição da regra é examinada. Dois casos devem ser discutidos. O primeiro ocorre quando o filho já pertence a alguma trajetória de compromisso. Este fato, por si, prova a utilidade deste classificador. No segundo caso, se o filho (agora chamado de gerador) não pertence a qualquer trajetória de compromisso existente, então uma trajetória de compromisso acessória é gerada, na qual este classificador é incluído. Elementos da trajetória acessória outros que os filhos criados pelo crossover são chamados preenchedores. Preenchedores herdam o índice de adaptação (fitness) de seu gerador, possivelmente com um fator multiplicativo.

### ⊗ Banco de procedimentos

Um procedimento é um conjunto de ações ou outros procedimentos necessários a que se chegue, por quaisquer que sejam os meios disponíveis, a um estado desejado. Esses meios são dados por cadeias de esquemas que conduzem ao objetivo desejado, tomando-se diferentes pontos de partida. Tais esquemas são ditos 'componentes' do procedimento.

Ao aplicar o esquema <#: sugar: #> ao contexto 'dedo perto da boca' a criança desenvolve uma reação circular 'primária', no caso, chupar o dedo. O próprio esquema <dedo perto da boca: sugar: dedo sendo chupado> é acrescentado ao banco de procedimentos. Por assimilação funcional a criança vai repetir esse esquema e, como obtém sucesso, associar uma emoção de prazer que, na maioria das vezes, não será compartilhada por seus pais.

Através do processo de 'especificidade' as mensagens, inicialmente simples, associadas a apenas um dos sentidos vão sendo combinadas de uma forma que simula a diminuição da distância entre os diversos estados sensoriais registrada por Piaget. Um objeto, a distância da mão, visualmente percebido, dispara esquemas do tipo <imagem do objeto: focar: registrar imagem>, <objeto próximo a mão: pegar: objeto na mão>, <objeto perto da boca: sugar: objeto sendo chupado>. A partir desses esquemas ou classificadores primitivos a criança compõe <objeto na vizinhança: focar, segurar e depois chupar: objeto sendo chupado>.

*A Busca sistemática, a Rotação sistemática, a Exploração perspectiva, a Imitação de movimentos familiares mas invisíveis, a Exploração sistemática de novidades, etc. são, da mesma forma, acrescentadas ao banco de procedimentos.*

## © Creche-maternidade

Se um esquema funciona em certos casos e em outros não, então é porque ele está sendo aplicado a duas categorias funcionais de observáveis; para uma categoria o esquema é válido e para outra não.

Mesmo que apenas dois conceitos tenham sido tratados pelo esquema, se um funcionou e o outro não, é porque há duas categorias de observáveis, e o esquema precisa se reproduzir para atender à categoria nova.

Objetos são comparados não apenas por sua aparência física, peso, sensação tátil, etc. Os objetos são identificados a esquemas de atividade, nos quais, dois objetos aparentemente semelhantes podem ter diferenças operatórias significativas. Para um objeto, o esquema de atividade pode produzir resultados satisfatórios, enquanto que para outro objeto semelhante o esquema pode produzir resultados insatisfatórios. Ao mesmo tempo, objetos muito diferentes na aparência podem ser usados pelo mesmo esquema de atividade, tendo portanto a mesma função.

Wazlawick (1993) exemplifica essa idéia pela classe dos materiais combustíveis, que inclui objetos de madeira, papel, e líquidos como o álcool e a gasolina e que é caracterizada mais por uma ação; a de queimar, do que por alguma característica física observável. Este é o ponto chave que caracteriza a teoria apresentada por Wazlawick como uma teoria *operatória* de construção de conhecimento ao invés de meramente *combinatória de sensações*.

Os esquemas físicos em aprendizagem estão divididos em três grupos; os esquemas que atingiram um alto valor na 'loja de esquemas físicos' os quais, portanto, têm a sua constante de aprendizagem  $\alpha$  próximo de 0.1;  $E_A$  e que são 'copiados' em uma rede neuronal classificatória de treinamento supervisionado, formando novos hotéis; os bons esquemas  $E_B$  e que recebem um alto valor na loja mas que ainda são capazes de se mover para se adaptar às coisas do mundo e os esquemas ruins  $E_R$  que, ou por serem itens novos ou por terem apresentado um desempenho inadequado, recebem um baixo valor de mercado.

Na modelagem proposta diversos mecanismos competem pela construção de novos esquemas. O domínio de observação registra tudo o que ocorre em tabelas. A análise dessas tabelas, como vimos, permite a definição de heurísticas que, se por enquanto, ainda são impostas a priori no modelo, podem se beneficiar de recentes estudos em que se utilizam algoritmos genéticos para construir um bom programa  $P(e)$  a partir de maus programas  $P(e_1)$  e  $P(e_2)$  (Koza, apud Nature, 1993) os quais podem ser incorporados posteriormente ao modelo.

Algoritmos genéticos exigem, primeiramente, que se encontre uma codificação adequada, um genótipo, para os indivíduos de uma população. Assim, é necessário codificar os esquemas, considerando todos os seus componentes.

Seja um esquema  $e$   $\{W(e), P(e), R(e)\}$  ao qual, por estar em aprendizagem, é associado a uma variável de  $\alpha$  aprendizagem que assimila observáveis  $A'$  e tem um bom valor de avaliação para estes observáveis. No caso deste esquema receber observáveis  $A''$ , para os quais a avaliação não é boa, ele deve se especializar em esquemas  $e1$  e  $e2$ . Neste caso,  $e1$  é semelhante a  $e$  e continua assimilando  $A'$ . Já  $e2$  é um novo esquema, derivado de  $e$ , que procura assimilar  $A''$ . Esse processo corresponde ao mecanismo de cisão assinalado por Freud.

Nesta situação, tanto o vetor  $W(e)$ , que é o que determina os observáveis aceitos pelo esquema, como os procedimentos  $P(e)$ , podem ser ajustados de forma genética. Os vetores  $W(e1)$ ,  $P(e1)$  podem ser mantidos iguais aos originais antes da ativação, mas os vetores  $W(e2)$ ,  $P(e2)$  devem ser gerados por reprodução genética.

Se um esquema  $e$  é especializado em  $e1$  e  $e2$ , é de se esperar que os campos conceituais de  $e1$  e  $e2$  sejam menores do que o campo conceitual de  $e$ . Este efeito é obtido pela medida de especificidade do esquema na loja de classificadores. O esquema  $e1$  não permanece idêntico a  $e$ .  $e1$  é especializado de forma a manter sua capacidade de disparo para os observáveis de tipo  $A'$ , mas passar a rejeitar observáveis de tipo  $A''$ .

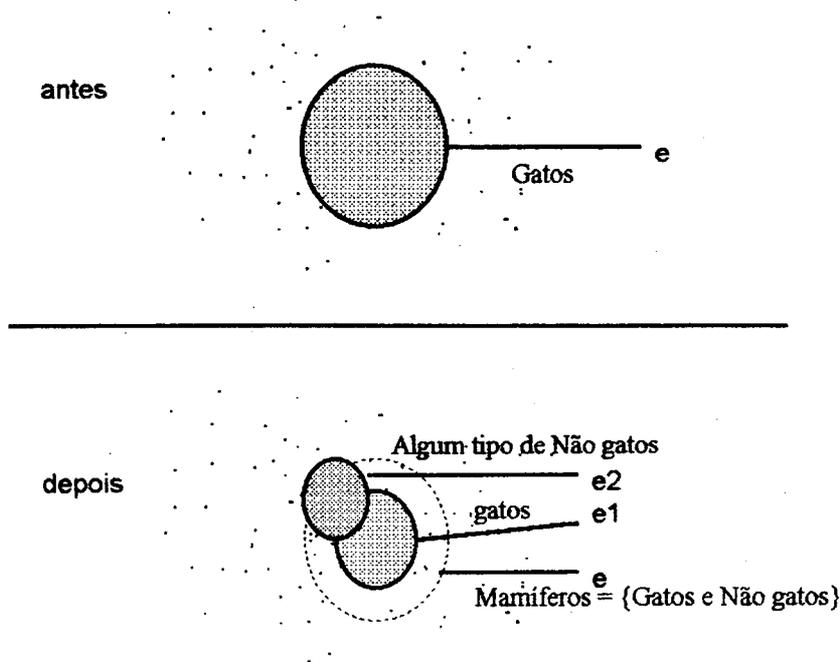


Figura 11.16 Efeito da reprodução de um esquema no seu campo conceitual

Não há garantia de que o novo esquema físico  $e2$ , seja uma boa acomodação para os observáveis não tratados por  $e$ , mas pode-se assumir que, se de fato for boa, será preservada com o passar do tempo e, se não for boa, será destruída, de acordo com a seleção natural. Por isso é que se utilizam os algoritmos genéticos para gerar toda uma população de classificadores que devem competir. Ao invés de se gerar apenas um novo esquema  $e2$ , são gerados toda uma população de esquemas, via cruzamentos genéticos.

## ☛ Seleção de Esquemas para Cruzamento

É preciso definir, ainda, como escolher os esquemas que serão cruzados com e para gerar uma população. Evidentemente que os procedimentos mais relevantes do banco de procedimentos devem ser utilizados como bons reprodutores e diversas cópias de  $X(\text{agente})$ , com seleção aleatória dos pontos que não serão considerados pelo agente, ou seja, que correspondam a vetores  $W$  com uma posição equivalente  $\#$ . também são candidatos naturais.

Dentro de uma abordagem piagetiana poder-se-ia pensar em usar as heurísticas de que as crianças se utilizam para acomodar uma situação nova, ou seja:

- uso de assimilação funcional; sorteio aleatório dos esquemas com melhor desempenho.
- uso de assimilação generalizadora; criação de esquemas  $\{X(\text{meio}), A, V, \dots\}$  onde  $A$  e  $V$  correspondem aos esquemas que dão maior prazer a criança.
- descoberta por acidente;
- tentativa e erro;
- escolha dos esquemas mais genéricos, ou seja, os de menor especificidade;
- etc.

### 11.6 Construtor de Restrições

O modelo apresentado até aqui é complementado quando se define a destruição dos esquemas mal adaptados. Esta destruição deve acontecer por dois motivos. O primeiro é que a população de esquemas não pode crescer indefinidamente, o que poderia levar, ou à falta de recursos de máquina, ou à estagnação do mecanismo pela impossibilidade de crescer. O segundo motivo é que uma grande quantidade de esquemas mal adaptados aumenta a probabilidade de um deles ser disparado no processo de ativação. Por outro lado, é preciso diferenciar entre esquemas que, ainda que tragam insucesso, se constituem em conhecimento de 'ações que devem ser evitadas diante de um contexto' e esquemas que não trazem nenhum conhecimento.

O modelo é capaz de gerar novos esquemas a partir dos que funcionam bem para alguns observáveis mas não tão bem para outros. É capaz de compor e criar novos símbolos e conceitos. Simula entidades ativas que, por construção generalizadora se desenvolvem horizontalmente e que, por abstração reflexiva, apresentam um desenvolvimento vertical, ou seja, descontinuidades. Não há garantia de que novos esquemas, símbolos, conceitos, meta-esquemas, esquemas-compostos acomodem os observáveis que não comportava anteriormente. As variações no ambiente não podem ser previstas mas a expectativa do agente fica registrada em pares de classificadores que registram, dentro de sua ontogênese autopoietica, a ação do agente e a resposta do meio. Através de trajetórias de compromisso o agente pode, a todo instante, representar o que ele acredita que vá acontecer. Como essa representação é constantemente atualizada espera-se que, com o passar do tempo, cada vez menos surpresas ocorram no que tange ao comportamento do meio-ambiente.

Aqueles símbolos, conceitos, esquemas, esquemas-compostos, meta-esquemas, etc. que conseguirem resultados melhores serão preservados e, posteriormente reproduzidos novamente. Os que não apresentarem bons resultados, em vez de serem destruídos, vão compor o *Espaço de Restrições*, uma memória episódica das coisas que acreditamos 'não vão dar certo'.

Quando o procedimento que consiste na construção do Espaço de Restrições é ativado, serão empregados, em primeiro lugar, os esquemas físicos que já foram executados e forneceram resultados ruins, pois estes esquemas terão seus preços na loja diminuídos. Os esquemas que nunca foram ativados só serão destruídos se nunca tiverem sido ativados e o tamanho da população for maior do que o desejado. Nesse caso não há interesse em utilizá-los para construção das Restrições.

A forma como isso é realizado consiste em eliminar os esquemas indesejáveis quando sua proporção em relação aos bons esquemas for muito grande. Este processo consiste, primeiramente, em separar os esquemas ruins que trazem alguma informação, ainda que negativa sobre o mundo, daqueles que não carregam nenhuma informação; eliminar simplesmente estes últimos e transformar os outros em construtores do Espaço de Restrições.

A medida que o tempo passa, no domínio cognitivo, apenas os esquemas bons são mantidos o que caracteriza o processo global de adaptação do agente ao meio-ambiente que o cerca.

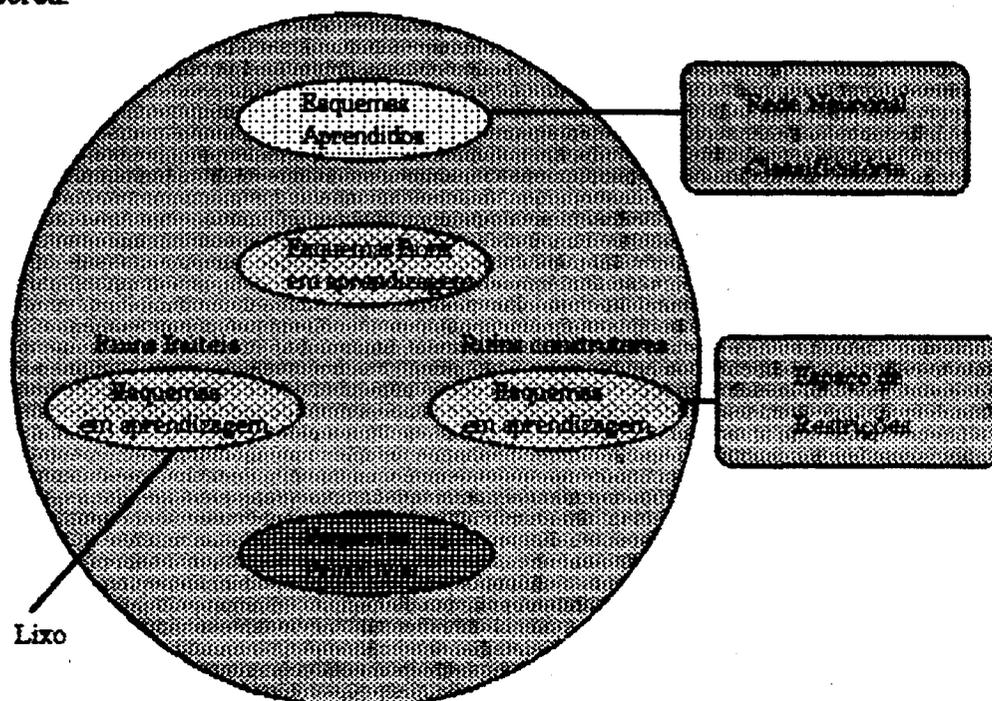


Figura 11.17 Tratamento de esquemas cognitivos e primitivos

O construtor de restrições é, na verdade, outro processador que vai representar o mundo em termos de uma rede semântica, uma espécie de memória episódica onde, para cada esquema do que não se deve fazer e cuja aplicação sem sucesso provocou um 'trauma' no organismo, se associam valores de "resistência", a força que mantém esse evento no inconsciente, dada pelas conseqüências da aplicação do mesmo, impedindo-o de se tornar consciente e uma "repressão" que mede a força necessária para contrabalançar aquela exercida pelo trauma para se tornar consciente, ou seja, a força que nega à consciência o acesso à informação traumática.

$$resistência = \frac{1}{crença(e)}$$

$$repressão \propto sim(V(e), X(e, t+1))$$

Esses dados serão empregados numa fase de pós-processamento em que se decide a ação que a entidade vai realizar no mundo.

### 11.7 Interação do agente com o meio-ambiente

As linhas dos procedimentos foram numeradas para facilitar a explicação.

Como se pode ver, o procedimento começa com a criação do universo (linha 1), cujos parâmetros podem ser definidos conforme a necessidade e os recursos de máquina. A seguir se define o tipo de entidade autopoietica que pretendemos modelar (linha 2).

#### ***Procedimento 11.1 (Interação de um Agente com seu Meio):***

- 1 *CriaUniverso*
- 2 *CriaAgente*
- 3 Repita para sempre:
- 4   *Pré-processamento fuzzy para definir entrada do domínio cognitivo*
- 5   *Se Assimilação então*
- 6     *Constrói RedeSemânticaExtensional*
- 7   *Senão*
- 8     *Acomodação*
- 9   *Fim Se*
- 10   *Pós-processamento difuso para definir o estado futuro desejado pela entidade*
- 11   *Processamento do banco de dados pelos domínios de observação e auto-observação*
- 12   *Constrói lojas de classificadores representando o agente*
- 13   *Constrói lojas de classificadores representando o meio-ambiente*
- 14 *Fim Repita*

Definido o universo e os seres que nele habitam, o programa deve executar de forma repetida e sem fim o procedimento pelo qual a entidade busca preservar sua autopoiesis. A linha 4 executa um *pré-processamento difuso* que corresponde à regulação das atividades do agente. As diversas necessidades internas da entidade em conjunto com os dados externos originados do mundo são priorizados definindo-se um objetivo a perseguir.

A saída desse pré processamento é um vetor  $X(\text{agente})$  que define o contexto para o domínio cognitivo e um objetivo  $O$  que pode ser saciar uma fome, se adaptar às perturbações externas ou atingir um estado desejado. A seguir se processa a assimilação (linha 5) ou acomodação (linha 7). O pós processamento difuso avalia o resultado obtido e define a estratégia que o organismo deve adotar para atingir seus objetivos (linha 10).

O modelo foi concebido para atuar em diferentes aplicações. O banco de dados, coração de toda essa arquitetura não foi definido. Uma primeira concepção do mesmo é apresentada na bibliografia (Fialho et al, 1994).

Como o objeto da tese é demonstrar como se podem desenhar sistemas complexos capazes de exibir afeto ilustramos um procedimento simples capaz de simular tal comportamento.

### ○ Acrescenta Esquemas Primitivos

<b>Procedimento 11.2 (Acrescenta Esquema Primitivo):</b>	
Procedimento <i>AdicionaEsquemaPrimitivo</i> (( $F$ , $O$ , $f(t)$ , $T_p$ , $M_s$ , $M_i$ , <i>crença</i> , $Ac$ )	
1	$F :=$ 'Fome de Alimentos'
2	$O :=$ Vetor definindo a busca por alimentos como objetivo
3	$t =$ tempo a partir da última vez que o esquema foi ativado com sucesso
4	$f(t) := t - 3$
5	$T_p :=$
	indiferença se $f(t)$ $:= \{-3, -2\}$
	leve interesse se $f(t)$ $:= -1$
	interesse se $f(t)$ $:= 0$
	urgência se $f(t) := \{1, 3\}$
	desespero se $f(t)$ $:= \{4, 9\}$
	apatia se $f(t)$ $:= \{10, 24\}$
	destruição se $f(t)$ $:= \{25, +\infty\}$
6	$M_s := 0$
7	$M_i := 0$
8	<i>crença</i> $:= 0.5$
9	Retorna Esquema Primitivo

A linha 1 define o tipo de fome que caracteriza o esquema primitivo. O esquema básico corresponde a fome de alimentos. Teoricamente todas as outras fomes devem ser construídas a partir dessa. O processo de gênese das mesmas, no entanto, não foi objeto desse trabalho. A linha 2 define o objetivo a ser atingido pelo organismo e corresponde a um vetor com todas as posições impróprias (#), exceto com relação a posição referente a fome que deve ser preenchido com um valor entre 0 e 1, de forma difusa, utilizando-se os dados de  $f(t)$  e da Tabela de Prazer associada. A função  $f(t)$  deve ser estudada para cada caso. Empregamos uma função linear por comodidade. A crença é inicializada em 0.5. Os contadores de sucesso e insucesso são inicializados no valor 0.

A decisão se houve ou não sucesso é modelada por lógica difusa onde são levados em consideração o tempo que se levou para se atingir o objetivo, o desempenho global do organismo em seu processo de adaptação, a história de sucessos e insucessos e a crença que se tem em obter alimentos no futuro.

### 11.8 Conclusão

Um modelo realmente construtivista deveria partir de uma base genética e, a partir daí, desenvolver todas as estruturas necessárias a sua adaptação ao meio-ambiente. Muitas vezes, em nosso exemplo, utilizamos heurísticas definidas a priori e em outras, apenas mencionamos a necessidade de tais heurísticas. Nossa intenção, como colocado anteriormente, não é a de 'resolver' o problema associado à construção de tais máquinas mas o de dar a nossa contribuição individual para que nos aproximemos cada vez mais desse objetivo. Outros esquemas e meta-esquemas precisam ser desenvolvidos para que possamos realizar tal intento.

O modelo, no entanto, demonstrou a sua potencialidade. As tabelas criadas dentro do domínio de observação, as lojas de classificadores com a possibilidade de se representar não só o agente como o meio-ambiente conforme visto pelo agente, a não monotonicidade, não linearidade do modelo, etc. abrem perspectivas que não foram exploradas aqui mas que sugerem interessantes desenvolvimentos.

Acreditamos que essa seja uma contribuição a compreensão que temos desse tipo de sistemas e que, se pecamos por falta de detalhamento, abrimos janelas para o misterioso universo em que habitamos, as quais podem nos conduzir ao tão desejado auto-conhecimento. O próprio foco da tese em 'abrir essas janelas', dentro de uma abordagem holística onde a todo instante se procurou não perder a noção do todo, em que se usou da matemática sempre condicionando-a a uma realidade física e não a um mero jogo de números e a percepção de que uma tese de doutorado é um compromisso de trabalho para toda uma vida nos motivou essa abordagem do 'geral para o particular'. É nossa intenção, junto com os futuros mestres e doutores que, porventura, venhamos a orientar, desenvolver o modelo, detalhando caminhos e, sobretudo, abrindo 'novas janelas'.

## CAPÍTULO DÉCIMO SEGUNDO

### CONCLUSÕES

*"Alice sorriu. Não adianta tentar", ela disse. "Não se pode acreditar em coisas impossíveis". "Suponho que você não tenha praticado muito isso", respondeu a rainha. "Quando eu tinha a sua idade, eu sempre praticava meia hora por dia. As vezes chegava a acreditar em até seis coisas impossíveis antes do café da manhã".*

*(Lewis Carroll)*

O trabalho desenvolvido na presente tese resultou na proposta de uma arquitetura, para modelagem de entidades autopoieticas, que é sustentada pelos estudos de Maturana e Varela (1972), nos quais se leva em consideração os problemas relativos a auto-organização e a modelagem de sistemas complexos. Essa arquitetura demonstrou ser capaz de simular uma entidade autopoietica em processo de adaptação ao seu meio-ambiente. Nosso objetivo geral; o de desenvolver uma *"Modelagem computacional da equibração das estruturas cognitivas como proposto por Piaget"*; demonstrou que o mecanismo de equibrações é suficiente para explicar a ontogênese dessas entidades. Exemplos de trabalhos precursores foram apresentados no capítulo nono, a saber:

- ☛ A Tese de Doutorado de Gary L. Drescher no M.I.T., sob a orientação de Seymour Papert, *"The Schema Mechanism: A conception of Constructivist Intelligence"*, que originou o livro *"Made-Up Minds; A Constructivist Approach to Artificial Intelligence"*.
- ☛ O trabalho de Gerald Edelman, Prêmio Nobel, que extrapola o construtivismo Piagetiano dentro do que denomina de *"Darwinismo Neuronal"*. A *"Modelagem Neuronal Sintética"* é uma abordagem teórica, em múltiplos níveis ao problema relativo à compreensão das bases neuronais do comportamento adaptativo. Através de simulações em computador, do sistema nervoso, do fenótipo e do ambiente de um organismo particular, estuda-se interações nestes três níveis.
- ☛ A Tese de Doutorado de Raul Sidnei Wazlawick, na Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia de Produção, sob a orientação de Neri dos Santos, *"Um Modelo para a Lógica Operatória de Piaget"* que estende a *'matematização'* da modelagem piagetiana a todas as fase do desenvolvimento.

Os trabalhos e os exemplos citados mostraram que:

- ☛ É possível obter modelagens cada vez melhores dessas entidades.
- ☛ Técnicas de caos como redes neuronais e algoritmos genéticos são apropriados para a modelagem das mesmas.
- ☛ Esses modelos são úteis na Engenharia de Produtos; na Engenharia de Controle de Processo; na Pesquisa Operacional; na Psicologia da Administração (melhor conhecimento dos processos humanos); etc, por fornecerem técnicas poderosas para solução de problemas complexos não lineares, comuns a maioria dos sistemas físicos e biológicos..

- ☛ Esses modelos permitem o estabelecimento de uma discussão teórico - prática em campos do conhecimento até então inacessíveis a um rigoroso tratamento matemático. Modelos computacionais permitem simulações que testam hipóteses sobre abstrações do tipo 'o que é inteligência', 'intuição', 'criatividade', etc.

A Engenharia do Conhecimento busca, através do estudo da forma como especialistas realizam o seu trabalho, aplicar esse conhecimento, sob a forma de automação. O problema objeto da Tese de Doutorado em questão consistiu em explorar a conjectura de Turing de que é possível se construir máquinas semelhantes a recém nascidos e dotar essas máquinas dos formalismos utilizados pelas crianças para construção de conhecimentos.

Foi proposto, ainda, que a construção de tais máquinas permite simular uma organização como uma entidade autopoietica de maior ordem (capítulo segundo) para a qual produtividade é sinônimo de sobrevivência. Possibilita, além disso, simular os agentes cognitivos que a compõe, os quais demandam uma melhor qualidade de vida. Viabiliza, também, representar um meio-ambiente que pode ameaçar ou apresentar oportunidades a tais interesses como decorrência da interação mútua entre os diversos componentes da organização.

Uma condição 'sine qua non' (capítulo 1) para a implementação de uma abordagem eco-ergonômica das organizações seria, como foi proposto, o emprego de ferramentas que possibilitem tais simulações.

### 12.1 Algoritmos genéticos

A teoria geral por nós proposta se suporta (capítulo décimo primeiro) em seis mecanismos básicos: Paralelismo, competição, recombinação, iniciativa, construção generalizadora e abstração reflexiva. Além desses convém mencionar a *redundância* observada nos organismos complexos e que é simulada no modelo pela superposição de diversas atividades criativas dentro dos diferentes domínios e dimensões. Espera-se que, dentro dessa metáfora biológica, o próprio processo de seleção natural seja o árbitro da competição entre os que sobreviverão e os que morrerão.

A verdadeira aprendizagem, segundo a concepção Piagetiana, deve ser tal que permita ao agente determinar livremente quais aspectos do mundo exterior deseja aprender. A aprendizagem, dentro desse enfoque, consiste na reequilibração das funções cognitivas do agente face às perturbações internas e do meio-ambiente.

Processos evolutivos lidam com populações de indivíduos. Algoritmos Genéticos Classificadores tem a forma " $c = \langle \text{condição} \rangle : \langle \text{mensagem} \rangle$ ". Em pares de classificadores o primeiro fornece o estímulo que dispara o segundo,  $\{ \langle \text{condição}_1 \rangle : \langle \text{mensagem}_1 \rangle ; \langle \text{condição}_2 \rangle : \langle \text{mensagem}_2 \rangle \}$ . Chamamos ao primeiro de *predecessor* e ao segundo de *sucessor*. Populações de pares de classificadores desse tipo são chamadas de *lojas de classificadores*. A semelhança dessa estrutura de classificadores com os esquemas propostos por Piaget é imediata.

Dada uma condição, definida por um contexto e uma ação, obtém-se uma mensagem que nada mais é do que o resultado que se espera obter do mundo exterior. Por esse esquema pode-se modelar a resposta real do mundo como o segundo elemento do par de classificadores. O conteúdo da loja, ao longo do tempo, espelha a imagem que a entidade faz de si mesmo e do meio-ambiente onde desenvolve sua autopoiesis. O mecanismo de equilíbrios, nessa modelagem, vai funcionar como um construtor de uma cadeia tal de esquemas intermediários / respostas intermediárias do mundo que acabam por conduzir, de um contexto inicial, ao resultado desejado pelo organismo.

Operações Genéticas são o ponto crucial do método como um todo; elas são responsáveis pela sua construtividade e permitem a simulação de mecanismos competitivos controlando a sobrevivência dos mais fortes. Pais são amostrados no grupo e aqueles mais bem adaptados têm uma melhor chance de produzir filhos que são obtidos pela troca aleatória de partes dos seus pais. Pares de classificadores na loja novamente gerada devem competir pela sobrevivência. Esta competição é simulada pelo disparo dos mesmos. Qualquer par de classificadores disparados melhora o seu grau de adaptação. Neste ponto aplicam-se os operadores genéticos levando-se em conta os valores atualizados para esse grau de adaptação. Esta competição pela sobrevivência se constitui em um *ciclo*. A metáfora biológica piagetiana encontra um paralelo no processo evolutivo simbolizado pelo emprego dessa técnica de caos (capítulo sétimo).

Para garantir a construtividade, não só de novos esquemas, mas de novos observáveis, representam-se atributos que ainda não foram discutidos pelo uso do símbolo "#". Pode-se imaginar que esses "#" correspondam a partes da cadeia genética que vão ainda ser programados de acordo com a experiência do organismo diante das mudanças que se operam no mundo, numa visão interacionista que resgata a velha dialética entre o lamarckismo e o darwinismo e que está de acordo com as idéias piagetianas. (Piaget, 1973).

Qualquer par "ação do organismo (ação dentro de um contexto) - resultado", deve ser casado com todos os outros classificadores. Todos os classificadores  $c = \langle p, s \rangle : \langle p', s' \rangle$  disparam uma mensagem  $\langle p', s' \rangle$  as quais são interpretadas como as próximas propostas em potencial. Trajetórias de compromisso descrevem ajustes bem sucedidos. A busca por um caminho de compromisso serve para modelar o mecanismo de equilíbrio, no qual, a partir de um par de classificadores que refletem a dialética <desejo do organismo: realidade dentro do micro-cosmos em que habita>, cadeias de esquemas são acionadas, novos esquemas são construídos, até que ocorra uma acomodação pela qual o organismo possa se adaptar as realidades sempre novas do meio-ambiente que o cerca.

## 12.2 Assimilação e acomodação

A acomodação, a exemplo de Wazlawick (1993), é feita através do emprego de uma rede neuronal de treinamento não supervisionada do tipo criado por Teuvo Kohonen. A medida que esquemas vão aprendendo, os mesmos não são mais capazes de se acomodar a observáveis diferentes daqueles para os quais se sintonizaram sendo então utilizados para treinar uma rede neuronal classificatória.

Essa rede neuronal classificatória passa, a partir daí, a ser empregada para assimilação desses observáveis. A medida que o tempo passa maior se torna essa rede, ou seja, mais adaptados ficamos às coisas do mundo. A tradução dessa rede neuronal em uma Rede Semântica Intensional onde os conceitos representados por esquemas, esquemas compostos e meta-esquemas são interrelacionados e de uma Rede Semântica Extensional com a memória das assimilações realizadas permite retratar a ontogênese da entidade.

### 12.3 Pré e pós-processamento difuso

Toda a tomada de decisão pela entidade foi modelada empregando-se lógica difusa. A entrada da dimensão cognitiva foi definida como sendo constituída de:

- ☞ Lista de atividades anterior
- ☞ Esquemas primários que representam as fomes da entidade
- ☞ Vetor real  $X$  que representa a perturbação proveniente do meio-ambiente
- ☞ Conjunto de esquemas vencedores
- ☞ Conflitos internos de esquemas
- ☞ etc.

Da mesma forma, a saída da entidade cognitiva pode ou não ser alguma ação externa. Muitas vezes a entidade vai estar ocupada resolvendo seus conflitos internos ou re-arranjando o seu banco de dados construindo meta-esquemas que se constituem em diferentes formas de estruturas cognitivas, ou mesmo verificando se determinado procedimento não fere impedimentos construídos e armazenados no Espaço de Restrições.

A modelagem difusa permite simular o comportamento muitas vezes imprevisível de seres humanos. Mais do que isso, possibilita o uso de um banco de regras contraditórias que simulam a forma como resolvemos nossos problemas.

### 12.4 O Espaço de Restrições

É feita uma distinção entre esquemas ruins que trazem conhecimento de outros esquemas que não dizem nada, tanto no que se refere ao que se deve fazer como ao que não se deve fazer. Ações que trouxeram más consequências para a entidade são armazenadas no subsistema de processamento associado ao Espaço de Restrições e organizadas de forma a representar uma memória episódica que é aproveitada no processo de tomada de decisões pela entidade.

### 12.5 Subsistema de Processamento Primário

As fomes que caracterizam uma entidade autopoietica e a transformam de agente passivo, meramente preocupada em se adaptar ao meio-ambiente, em agentes ativos capazes de transformar esse meio, são modeladas dentro de um subsistema de processamento primário e construídas a partir da <fome por alimentos>.

Para Piaget a afetividade é interdependente da cognição. É preciso desejar conhecer para conhecer. Essas fomes e o sucesso ou insucesso em satisfazê-las vão construir os estados emocionais e comandar o mecanismo como um todo, da forma preconizada por Piaget. O Subsistema de Processamento Primário funciona, portanto, como Regulador de todo o processo cognitivo.

## **12.6 Modelagem de agente e de seu meio-ambiente**

Agente e meio-ambiente são modelados como entidades autopoieticas que possuem o mesmo tipo de arquitetura e que mudam de estado utilizando o mesmo mecanismo de equilibrações. Quanto mais rico for o meio-ambiente, quanto maior o número de agentes, maiores perturbações sofrerá uma entidade autopoietica específica fazendo com que a mesma não cesse de buscar um equilíbrio num processo não linear e caótico.

A máquina autopoietica opera sempre em região de criticalidade e será tanto mais adaptável quanto mais 'estados' possuir como resposta a mudanças no meio-ambiente. O mecanismo de equilibrações atua não só como construtor desses estados mas, também, como controle capaz de fazer a entidade sair de um determinado estado (equilíbrio), entrar nas regiões do caos (desequilíbrio) e retornar à ordem, em um outro estado onde algo a mais foi construído (equilíbrio majorante) e em que uma resposta adaptativa foi encontrada.

### **12.6.1 Valores próprios e impróprios**

Os estudos de Steinbuch (1977) demonstram que o número de valores próprios do vetor real  $X(\text{meio})$  possui da ordem de  $10^9$  valores próprios. Essas são as informações que somos capazes de captar da realidade por meio dos sentidos. Por outro lado, o vetor  $W$  que representa a entrada dentro de um esquema não contém mais do que 100 valores reais próprios que correspondem a quantidade de informações por segundo que tratamos a nível consciente. A saída da dimensão cognitiva, por outro lado, acrescenta a esses valores dados que correspondem às crenças construídas pelo indivíduo, resultando num vetor  $A$ , saída do agente, com  $10^7$  valores próprios.

Esses números atestam a importância da abordagem cognitivista e a impossibilidade de se obter bons modelos com o emprego do conceito behaviorista de estímulo / resposta. O agente dá um significado não só às informações do meio, na determinação de que dados da realidade são importantes ou não, como ao tratar o contexto incorpora valores e crenças específicas à sua ontogênese individual.

### **12.6.2 Os tipos de equilíbrio**

Existem três formas de equilíbrio: Sujeito/Objeto; Esquema/Esquema e Esquema/Sistema de Esquemas. A arquitetura proposta é capaz de tratar dessas três formas de equilíbrio; a primeira através da dimensão cognitiva e as demais pelos procedimentos associados aos domínios de observação e auto-observação.

Na equilibrção sujeito/objeto, a questō da diferenciação de esquemas em sub-esquemas foi tratada por Wazlawick (1993). Um esquema bom é reproduzido sempre que for ativado e tiver seu valor de avaliação diminuído. A hipótese básica é de que o campo conceitual do esquema esteja muito geral. Por isso um de seus descendentes terá limiar de ativação mais alto do que o gerador. Isto faz com que a ativação do descendente ocorra menos frequentemente e, quando ocorrer, para observáveis que satisfaçam com muita precisão o vetor  $W$ .

A Equilibrção parte/parte (esquema/esquema) e parte/todo (esquema/sistema de esquemas) foi discutida dentro dessa tese como uma construção cuja responsabilidade repousa sobre os sistemas de processamento associados aos domínios de observação e auto-observação. Presume-se que seja possível aplicar o mecanismo genético também a estes tipos de equilibrções. Diferenciamos esquemas-compostos onde ações são combinadas resultando em procedimentos e meta-esquemas capazes de re-arranjar as informações contidas no banco de dados organizando estruturas cognitivas diferentes como frames, scripts, sistemas de produção, etc.

O modelo permite pré-programar as heurísticas necessárias aos domínios de observação e auto-observação para a construção de esquemas compostos e meta-esquemas. Um modelo inteiramente construtivista deveria ser capaz de construir essas heurísticas. Conjectura-se que o próprio mecanismo de equilibrções seja capaz de realizar tais construções.

## 12.7 Fontes para Pesquisa Futura

O campo de estudos abrangido pela inteligência artificial construtivista pode ser comparado a uma enorme floresta eternamente cercada por densa neblina. Nossa experiência e a de outros viajantes que se arriscaram a explorar essa floresta rasgaram, apenas, tímidas trilhas, insignificantes diante das dimensões ainda desconhecidas. Muito há que fazer onde quase nada ainda foi feito. Alguns dos caminhos que descortinamos ao longo dessa viagem estão listados a seguir.

### 12.7.1 Extensões à metáfora biológica de Piaget

As hipóteses de Piaget estendem o darwinismo incorporando a este os sucessos mais marcantes advogados por Lamarck. Esquemas são aprendidos e não transmitidos geneticamente. A transmissão genética não é o único fator capaz de definir o futuro. O holismo de Paul Weiss e a cibernética permitiram a Piaget reformular, também, o paradigma biológico. Muito há que explorar no sentido apontado pelo mestre suíço. O neutralismo de Kimura (1989) que prega a importância da diversidade neutra parece um paradigma digno de ser explorado, capaz não só de elevar a compreensão que temos dos mecanismos evolutivos como também de aperfeiçoar a metáfora biológica associada à técnica de algoritmos genéticos que empregamos.

### 12.7.2 Modelagem cognitiva de organizações

A modelagem completa de um universo é idêntica à de um agente cognitivo. Na prática pode-se fixar a priori as características do mesmo. Piaget (1952), mostrou que um organismo pode evoluir dinamicamente em seu meio ambiente a partir de: (i) fatores genéticos (como os projetistas da organização a projetaram); (ii) interações sensoriais com o mundo externo (como a organização está funcionando realmente); (iii) integração social (qual é o nível de satisfação dos componentes do organismo) e (iv) busca por uma equilíbrio das estruturas cognitivas (quanta flexibilidade possui a organização para se adaptar a mudanças externas e internas?). Uma modelagem cognitiva das organizações, vistas como entidades autopoiéticas, permite uma análise dinâmica da organização em contínua adaptação a um meio em mudança do qual ela é parte indissociável. Esta nova proposta relativa à ergonomia estende sua amplitude de uma visão antropocêntrica para uma visão biocentrada onde o construtivismo rende justiça à dimensão reflexiva das ciências cognitivas.

O modelo foi concebido como uma ferramenta para a abordagem eco-ergonômica de organizações. Já existe, dentro do Departamento de Engenharia de Produção e Sistema, tese de doutorado em andamento que estenderá o estágio atual da pesquisa nessa direção, simulando a fábrica, as pessoas que nela trabalham e o meio-ambiente, como agentes cognitivos com ontogêneses diferentes mas sujeitos ao mesmo mecanismo de equilíbrios.

Tal modelo permitirá não só o diagnóstico empresarial mas a simulação das ações pretendidas para adequação da organização aos resultados pretendidos, possibilitando a predição das consequências da aplicação de tais ações. O usuário atuará, nesse caso, como um gerador de perturbações internas e externas provocando a migração do conjunto para diferentes estados de equilíbrio onde o resultado pretendido possa ser alcançado.

### 12.7.3 Sistemas de diagnóstico

Os atuais sistemas de diagnóstico se suportam no paradigma dos sistemas especialistas em que um banco de conhecimento e regras de inferência são empregados. Os componentes de tais sistemas são pré-programados com base em um trabalho de análise onde se busca captar os dados utilizados pelo especialista e a maneira pela qual o mesmo utiliza esses dados diante de situações. O presente modelo permite acrescentar a tais sistemas a capacidade de construir novos conhecimentos e novas regras com base na experiência adquirida, simulando não só o comportamento estático do detentor do conhecimento mas a dinâmica pela qual, a cada nova experiência, o mesmo atinge maiores graus de excelência na realização de seus diagnósticos.

### 12.7.4 Pesquisa operacional

Os problemas de Engenharia podem ser compreendidos, de forma mais geral, como problemas de otimização.

Dada, por exemplo, uma função que represente o custo para produzir determinado produto, realizar determinado empreendimento, etc., queremos saber o valor das variáveis que minimizem essa função. Este é o problema central do que se denominou chamar de Pesquisa Operacional.

O presente modelo permite que se represente a função custo como um vetor  $X(\text{meio})$  e a solução que se procura como uma cadeia de esquemas que é construída por uma entidade de forma a atingir um resultado que consiste, nesse caso, em obter valores menores que o de outros agentes.

Pode-se simular um mundo em que a sobrevivência seja definida em termos da capacidade de um determinado agente se adaptar às condições do mesmo. Essas condições podem ser colocadas como um problema de Pesquisa Operacional a ser resolvido.

#### 12.7.5 Sistemas de Ensino Inteligente Auxiliado por Computador

Professor e aluno podem ser modelados como entidades autopoieticas existindo em um meio-ambiente onde toda a troca de informações entre ambos é intermediada por outros objetos e agentes. Essa modelagem permite uma abordagem inteiramente original das diversas concepções do ensino à distância.

#### 12.7.6 Aplicações na Engenharia de Produtos

O contínuo aperfeiçoamento do modelo e a precisão com que o mesmo passe a retratar os agentes cognitivos possibilita uma previsão menos empírica de conceitos como 'qualidade percebida', 'valor', etc.

Mais ainda, mundos artificiais podem ser criados onde a forma e as propriedades de determinada entidade alopoiética sejam 'construídas' de forma a atender as necessidades das entidades autopoieticas que nele habitam. Tal máquina seria capaz de propor, inclusive, o desenvolvimento de novos produtos, em função de necessidades construídas pelas entidades autopoieticas habitantes desse universo dentro de suas ontogêneses.

#### 12.7.7 Aplicações na Engenharia de Controle de Processo

O projeto de uma fábrica caótica (capítulo sétimo), a fábrica do futuro, projetada para operar em regiões de criticalidade; ou seja, regiões de máximo desempenho, capaz de responder com flexibilidade às mudanças do meio ambiente, pode ser auxiliado pelo emprego da ferramenta ora proposta. Não só a construção dos estados associados a tal flexibilidade como os controles necessários a fazer com que as mesmas possam se mover rapidamente entre esses estados de forma a se adaptarem à dinâmica do meio ambiente podem se beneficiar com o emprego da modelagem proposta.

### 12.7.8 Aplicações na Psicologia da Administração

O melhor conhecimento dos processos humanos, possibilitado pelo simulador, permite que se prediga os resultados da aplicação das diversas técnicas motivacionais que visam não só o aumento da produtividade como a melhoria da qualidade de vida dos trabalhadores. Como ressaltado, o modelo permite o estabelecimento de uma discussão teórico - prática em campos do conhecimento até então inacessíveis a um rigoroso tratamento matemático, permitindo o teste de hipóteses sobre abstrações do tipo 'o que é inteligência', 'o que é intuição', 'criatividade', etc.

### 12.7.9 Exploração de um Ambiente Dinâmico para novas Experiências

O modelo proposto neste trabalho abre caminho para a construção de um ambiente generalizado para experimentação não só com a teoria Piagetiana mas também de outros pesquisadores. Especula-se como seria o mundo observado por golfinhos, morcegos, etc. Pode-se modelar tais entidades e se testar, por exemplo, as diversas hipóteses sob a correlação entre diferentes aparelhos sensório-motores e a evolução.

Para efetivar esta abordagem, seria necessário um ambiente no qual o usuário pudesse editar micro-mundos e povoá-los com agentes cognitivos. Diversas configurações físicas poderiam ser testadas, fazendo-se variar os parâmetros dos sensores e efetores dos agentes e também dos efeitos de suas ações no meio-ambiente.

### 12.7.10 Simulação de teorias evolutivas

Existe, dentro do modelo proposto, uma 'classe geral' que chamamos de universo e que é constituído por um determinado mundo e as entidades que nele habitam. Para simular as perturbações externas a um organismo seria necessário modelar todo o meio-ambiente dentro do qual o mesmo exerce sua *autopoiesis*. Teorias evolutivas que especulam sob a forma de surgimento na vida do planeta poderiam ser simuladas pelo modelo proposto.

### 12.7.11 Aprofundamento do Modelo

Os anos de estudo que levaram à conclusão deste trabalho não foram suficientes sequer para arranhar a superfície da teoria de Piaget. Estudos mais aprofundados são necessários para que se possa desenvolver cada vez mais o modelo.

## 12.8 Considerações Finais

Este trabalho procurou abrir caminho em um campo pouco explorado em inteligência artificial: a inteligência artificial construtivista. A maioria dos modelos de aprendizagem de máquina estabelecem modelos rígidos de interação, dentro dos quais a máquina é, de certa forma, forçada a aprender aquilo que lhe é ensinado. Um modelo construtivista parte de um material genético e deixa, ao agente, a liberdade de se desenvolver no meio-ambiente com a finalidade única de preservar a sua *autopoiesis*.

Máquinas programadas não são capazes de se adaptar quando a realidade para a qual foram programadas deixa de existir ou se modifica a um ponto tal que os resultados por ela obtidos perdem significado. Para alcançar a adaptação, a máquina deve ser capaz de extrair informações em tempo real e modificar seu comportamento para acomodar estas informações. O modelo eco-ergonômico desenvolvido, que se sustenta nos trabalhos de Piaget (op. cit.); no conceito de autopoiesis desenvolvido por Maturana e Varela (op. cit.) e no modelo operatório de Wazlawick (op. cit.) provê mecanismos que permitem este tipo de adaptação e, mais do que isso, permitem explicar as estruturas cognitivas de ordem mais elevadas que construímos ao longo de nosso desenvolvimento evolutivo.

## CAPÍTULO DÉCIMO TERCEIRO

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBAGNA, N. "Dicionário de filosofia", 2 ed. São Paulo: Mestre Jou, 1982
- AMADOR, Ricardo Miguel S.T. et al. "Representação de conhecimento através de frames". Portugal: Universidade Nova de Lisboa, 1988
- AMALBERTI R., MONTMOLLIN M., THEAUREAU J. "Modèles en analyse du Travail". Liège: Pierre Mardaga, 1991.
- ANDERSON, J. R., "A Spreading Activation Theory of Memory". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- ANDERSON, J. R., "Aquisition of Cognitive Skill". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- BARR, FEIGENBAUM. "The Handbook of Artificial Intelligence", California: W. Kaufmann Inc., 1982.
- BOOCH, Grady. "Object Oriented Design with Aplications". The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. Redwood City, California. USA. 1991.
- BOWERMAN, Chris. "Writing and the computer: an Intelligent Tutoring Systems Solution"; Computer Assisted Learning, V.18, n.13, 77-83, 1992.
- BOY, Guy. "Assistance a L'operateur: Une approche de l'intelligence artificielle"; Paris: Teknia, 1988.
- BRAINE, Eric: "Inteligência Artificial / Ciências Cognitivas: O que está em jogo?", Terminal, 55 out/nov/1991
- BREARLEY, Molly; HITCHFIELD, Elizabeth: "Guia Prático Para Entender Piaget"; São Paulo, IBRASA, 1976.
- BRENNAN, Barbara A. "Mãos de luz". São Paulo: Editora Pensamento, 1992.
- BROWN Jr., O. - The Evolution and Development of Macroergonomics. In: Proceedings of the 11th Congress of the International Ergonomics Association. Paris 1991, pp.1175-11712.
- BUCHAMAN, Bruce G., FORSYTHE, E. Diane. "Knowledge Acquisition for Expert Systems. Some Fitfalls and Suggestions"; IEEE; Transactions and Systems, Man and Cybernetics, v. 19, n. 3, May/June, 1989.
- BROWN, J. S. & VanLEHN, K., "Repair Theory: A Generative Theory of Bugs in Procedural Skills". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- CARNOTA, Raúl Jorge. "Sistemas Expertos y Representación del Conocimiento" Curitiba: Ebai, 1988.

- CASTORINA, José A. & PALAU, Gladys D. Introducción a la Lógica Operativa de Piaget: Alcances y Significado para la Psicología Genética. Barcelona, Paidós, 1982. (IN: Biblioteca PSICOLOGIAS DEL SIGLO XX, v. 38).
- CEBALOS, Seerra, Francisco Javier. "Curso de Programação C++, Programação Orientada a Objetos". RA-MA Editorial. Madrid, Espanha, 1991.
- CHASE, W. G. & SIMON, H. A.; "The Minds Eye in Chess". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- CLAUDIO, Dalcídio M.; DIVÉRIO, Tiaraju A.; TOSCANI, L.V. Fundamentos de Matemática Computacional. Sagra, Porto Alegre, 19812.
- COLLINS, A. M.; LOFTUS, E. F., "A Spreading-Activation Theory of Semantic Processing". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)
- COAD, Peter, YOURDON, Edward. "Análise baseada em objetos". Editora Campus Ltda. SP-Brasil. 1992.
- COSTA, Antônio C. da R. Initial Thoughts on Agents and their Development. Relatório de Pesquisa, UFRGS, Porto Alegre, 1989.
- COSTA, Rocha.; "Seminário de Epistemologia da Inteligência Artificial", 1989, UFRGS.
- COSTA, Rocha; "Para uma Revisão Epistemológica da Inteligência Artificial", 1986, UFRGS.
- DAMATO, M. "Bebês inteligentes". In: Folha de São Paulo, 8 nov. 1992, p.6
- DAYHOFF, J.; "Neural Network Architecture - An Introduction", Van Nostrand Reinhold, 1990.
- DELGRANDE, James P.; MYLOPOULOS, John "Knowledge Representation: Features of Knowledge. Fundamentals of Artificial Intelligence - An Advanced Course". In: Lecture Notes in Computer Science 232 ed. G. Goos & J. Hartmanis. Springer-Verlag, Berlin, 1986, p.3-36.
- DENIS, F. A. R. M.; MACHADO, R. J. "O modelo conexionista evolutivo". Rio de Janeiro: IBM, Relatório Técnico CCR-128, set 91.
- DIX, Jürgen. "Some Tendencies in Non-Monotonic Reasoning: I. The Main Approaches". Karlsruhe, draft, Jul. 1989.
- DOLLE, Jean Marie "Pour Comprendre Jean Piaget". Toulouse, 1974. (ed bras. Para Compreender Jean Piaget - Uma Iniciação à Psicologia Genética Piagetiana, Guanabara-Koogan, 1987).
- DRESCHER, Gary L. "Made-up Minds - A Constructivist Approach to Artificial Intelligence". The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1991.
- DREYFUS, Hubert L. "O que os Computadores não Podem Fazer - Crítica da Razão Artificial". Rio de Janeiro: A Casa do Livro Eldorado S.A. 1975. (Original: What does Computer's Can't Do - A Critique of Artificial Reason, 1972).
- DUBOIS, D., PRADE, H. "Fuzzy Sets and systems - theory and applications". New York: Academic Press, 1980.

- DOWKINS, R. "The Blind Watchmaker". London: Penguin Books, 1988.
- EDELMAN, Gerald M.; REEKE Jr., George N.; SPORNS, Olaf. "Synthetic Neural Modeling: The Darwin Series of Recognition Automata", Proceedings of IEEE, set. 90, vol. 78, n 9, p. 1498
- ENDERTON, Herbert B. "A Mathematical Introduction to Logic". New York: Academic Press, 1972.
- FAGUNDES, Lea. Informática e Educação, In: Congresso SBC, 8, Anais. Rio de Janeiro, UFRJ/NCE, 1988, 20p.
- FATH, L. Janet et al. "An ICAI Architecture for Troubleshooting in Complex, Dynamic Systems"; IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, v.20, n.3, p.531-558, May/June, 1990.
- FIALHO, Francisco A. P., SANTOS, Neri dos. "Antropotechnology, Autopoiésis and the work of Jean Piaget". 4<sup>th</sup> International Symposium on Human Factors in Organization Design and Management (ODAM), Suécia, 1994.
- FIALHO, Francisco A. P., SANTOS, Neri dos. "Modélisation informatique des structures déquilibration cognitive comme proposée par Jean Piaget". "Computational modeling of the equilibration of the cognitive structures as proposed by Jean Piaget". 4<sup>o</sup> Congrès International de Genie des Systèmes Industriels, França, 1993.
- FIALHO, Francisco A. P.: "A Modelagem Cognitiva na Concepção de Sistemas de Produção", Tese de Mestrado na UFSC, 1992.
- FIALHO, Francisco A. P. "Modelagem computacional das estruturas cognitivas conforme proposto por Jean Piaget", Exame de qualificação para o doutorado na UFSC, 1993.
- FIALHO, Francisco A. P. "A Eterna busca de DEUS" Brasília: EDICEL, setembro de 1993.
- FIALHO, Francisco A. P., Dos SANTOS, N. "A Fuzzy Approach to the Operatory Logic of Jean Piaget". artigo encaminhado para o Congresso Nipo-Brasileiro a ser realizado em Campinas., jul. 1994
- FIALHO, Francisco A. P., Dos SANTOS, N. "A general architecture for simulating complex systems able of auto-organization". artigo encaminhado para o Artificial Neural Networks in Engineering a ser realizado em nov. 1994.
- FIALHO, Francisco A.P, KUNT, Vinicius, CORTEZ, Bernadete. "Um banco de dados multimídia orientado para objetos", trabalho realizado para a cadeira de Multimídia na Universidade Federal de Santa Catarina, 1994, 65 p.
- FLAVELL, John H. "A psicologia do desenvolvimento de Jean Piaget"; São Paulo: Pioneira, 1975.
- FODOR, J. A.. "Precis of the Modularity of Mind". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- FREEMAN, Walter J.; "The Physiology of Perception", Scientific American, 1991
- FURTH, H.G. "Piaget e o conhecimento". Rio de Janeiro, Forense Universitária, 1974.

- GENTNER, D. "Structure-Mapping: A Theoretical Framework for Analogy". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- GLEICK, James "Caos - A Criação de uma Nova Ciência". Rio de Janeiro: Editora Campus, 1991.
- GOLDBERG, David "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning". Reading, Addison-Wesley, 1989.
- GREBOGI, Celso. "O caos sobre controle". In: Ciência Hoje, v. 15, n<sup>o</sup> 87, p. 42-412.
- GREFENSTETE, John; DAVIS Lawrence; CERYS, Daniel: "Genesis & Oga"; TSP Publications, P.O. Box 1991; Melrose, MA 02176, USA, jan./1991.
- GRUBER, H. E. Vonèche, J. J. "The essential Piaget". London, Ed. Routledge e Kegan Paul Ltd., 1977, 865 páginas.
- HALPERN, J., MOSES, Y. "A guide to the modal logics of knowledge and belief: preliminary draft". Communication of ACM, 1985.
- HALPERN, J. "Reasoning about knowledge: an overview". Communications of ACM, 1986.
- HARRIS, M. "Culture, people, nature, an introduction to general anthropology". New York: Harper & Row Publishers, p. 65
- HAYES, P. J., "Naive Physics I- Ontology for Liquids". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- HAYES-ROTH, B. & HAYES-ROTH, F., "A Cognitive Model of Planning". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)
- HENDRICK, H. W. - Organizational Design. In: Handbook of Human Factors.
- HENDRICK, H. W. - Macroergonomics: a concept whose time has come. Human Factors Society Bulletin, vol 10, n. 2, p.1-3, fev, 19812.
- HENDRICK, H.W. - Ergonomics in Organizational Design and Management. Ergonomics. vol. 34, n. 6, p. 743-756. 1991.
- HENDRICK, H. W. - Adaption, Development and Application of tools and methods for macroergonomic field research. In: Proceedings of the 11th Congress of the International Ergonomics Association. Paris, p.1181-1183, 1991.
- HOFSTADTER; Douglas R. "GÖEDEL, ESCHER, BACH: An Eternal Golden Braid", Vintage Books, 1980.
- HOLLAND, John "Adaptation in Natural and Artificial Systems". University of Michigan Press, 1975, edição revista de 1993..
- HOLLAND, John Genetic Algorithms. In: Scientific America. Jul 1992. p.44-50.

- HORGAN, J. "Fractured functions. Does the brain have a supreme integrator?". In: Scientific American, dez 93, p. 16-112.
- IMADA, A. S. & NORO, K - Participatory Ergonomics: methods for improving individual and organizational effectiveness. In: Human Factors in Organizational Design and Management - II. (O. Brown Jr., H. W. Hendrick, (eds)). North-Holland, Amsterdam, 1986.
- IMADA, A. S. & BOWMAN, M. E. - Change by design, human factors by necessity: lessons in participatory ergonomics. In: Proceedings of the human factors society 36th annual meeting - 1992.
- IMADA, A.S.; NORO, K.. - "Participatory Ergonomics". Londres, Taylor & Francis, 1991.
- JAHN, Robert G. "The Persistent Paradox of PSI Phenomena; an Engineering Approach", Proceedings do IEEE, Vol. 70, N§ 2, Fevereiro de 1982
- JOHNSON-LAIRD, P. N., "How to Reason Silogistically". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- JONG, de Ton, JOOLINGEN, Wouter R. Van. "Modelling Domain Knowledge for Intelligent Simulation Learning Environments"; Computer Assisted Learning, v.18, n.13, p. 29-37, 1992.
- KANDEL, Abraham "Fuzzy Mathematical Techniques with Applications": Reading, Addison-Wesley, 1986.
- KARR, Chuck; "Applying Genetics to Fuzzy Logic", AI Expert, março 1991; pg. 38
- KAUFFMAN, S. Antichaos and adaptation. Scientific American 200 ( ), 1991.
- KICKERT, Walter J. M. Fuzzy theories on decision making. London: Martinus Nijhoff, 1978.
- KIMURA, M. "A teoria neutra da evolução molecular e a visão do mundo dos neutralistas". Revista Genome, vol 31, p. 24-31, 1989
- de KLEER, J. & BROWN, J. S., "Assumptions and Ambiguities in Mechanistic Mental Modes". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- KONNER, M. "Máquinas podem pensar como homens?" In: Diálogo, Rio de Janeiro, 2 (21): 9-12, 1988.
- KOSSLYN, S. M. "Seeing and Imaging in the Cerebral Hemispheres: A Computational Approach". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- KÖHLER, Wolfgang "Psicologia da Gestalt". Belo horizonte: Editora Itatiaia, 2ª edição, 1980. (Original: Gestalt Psychology, Liveright Pub. Co. 1947).
- KOZA, John R. "Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection". MIT Press: 1992; revisto por Antonia J. Jones, In: Nature, vol 363, 20 maio 1993, p. 222
- LAWTON, George; "Genetic Algorithms for Schedule Optimization"; AI Expert, maio 1992, pg. 23
- LIMA, Lauro de Oliveira. "Piaget para Principiantes"; São Paulo, Summus, 1980.

- LIMA, Lauro de Oliveira. "Que contribuição Jean Piaget dá à área da psicoterapia"; Rio de Janeiro, Centro Experimental e Educacional Jean Piaget.
- MASTERS, T. "Practical neural networks recipes in C++". Boston: Academic Press, Inc., 1993.
- MARR, D. & POGGIO, T.; "A Computational Theory of Human Stereo Vision". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- McALLESTER, David & ZABIH, Ramin Boolean Classes. SIGPLAN Notices OOPSLA 86 Proceedings 21(11):417-23, Nov. 1986.
- McCARTHY, John Applications of Circumscription to Formalizing Common-Sense Knowledge Artificial Intelligence 28(1) North-Holland Amsterdam Feb. 1986 89-116.
- McCLELLAND, J. L., RUMELHART, D. E. & HINTON, G. E. "The Appeal of Parallel Distributed Processing". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- McDERMOTT, Drew & DOYLE, Jon "Non-Monotonic Logic I" Artificial Intelligence North-Holland Amsterdam 13(1,2):41-72 Apr. 1980.
- MATURANA R., Humberto, VARELA, Francisco G. "De Maquinas e Seres Vivos" - Uma Teoria Sobre a Organização Biológica. Editorial Universitaria, S.A. 1972. Santiago de Chile. Chile.
- MATURANA R., Humberto, VARELA, Francisco G. "El árbol del conocimiento". Editorial Universitaria, S.A. 1992. Santiago de Chile. Chile.
- MATURANA R., Humberto, "Emociones y Language in Educacion y Política" Santiago de Chile. Chile. Hachette, 1990
- MATURANA R., Humberto "Desde la Biología a la Psicología" Viña del Mar. Chile, Fundación Synthesis, 1993.
- MATURANA R. "Conhecer o conhecer - Entrevista". In: Revista Ciência Hoje, n. 32, v. 14, set 1992.
- MATWIN, Stan; SZAPIRO Tom; HAIGH Karen: "Genetic Algorithms Approach to a Negotiation Support System"; IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 21; jan./fev. 1991.
- MEDEIROS, Egberto. "Analyse des mecanismes de resolution de Problemes en vue de la conception d'un cooperatif D'aide a la prise de decision: cas du diagnostic par telephone"; Paris: Conservatoire National des Arts et Metiers, 1992. (These présentée pour l'obtention du Doctorat d'Ergonomie)
- MESHKATI, N. - Macroergonomics and Technology Transfer. In: Proceedings of the 11th Congress of the International Ergonomics Association. Paris, 1991, pp.1184-1186.
- MIELKE, Fernando. "Ensino Assistido por Computador: Algumas Considerações Teóricas da Ergonomia e da Inteligência Artificial num Ambiente Hipertexto"; Florianópolis, 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.
- MINSKY, M., "A Framework for Representing Knowledge". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-

- MITCHELL, David P. et al. "How Can Intelligent Cal Better Adapt to Learners?"; Computer Assisted Learning, v.18, n.13, p.23-28, 1992.
- MITCHELL, T. M., KELLER, R. M. & KEDAR-CABELLI, S. T., "Explanation-Based Generalization: A Unifying View". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- MONOD, J. "O acaso e a necessidade". Petrópolis, Editora Vozes, 1970.
- MORIN, E. "Enigma do homem". Rio de Janeiro, Editora Zahar, 1975
- MORIN, E. "O método II, a vida da vida". Lisboa, Publicações Europa-América, 1977
- MORROW, Mike; "Genetic Algorithms, A new class of searching algorithms", Dr. Dobbs Journal, abril 1991, pg. 26
- MOORE, R. C. Semantical Considerations on Nonmonotonic Logic "Artificial Intelligence" North-Holland Amsterdam 25(1):75-94 Jan. 1985.
- MOTOYAMA, H. "Teoria dos Chakras". São Paulo: Editora Pensamento,
- NEWELL, A. & SIMON, H. A., "The Theory of Human Problem Solving". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- NEWELL, A. & SIMON, H. A., "GPS, a Program that Simulates Human Thought". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- OLIVEIRA, P. M. C. de. "Sistemas Complexos". In: Ciência Hoje, v. 16, n<sup>o</sup> 92, p. 15-412.
- PASSOS, L. E. "Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas ao Alcance de Todos". Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora, 1989.
- PENSADORES, OS; "PIAGET"; Coleção da Abril Cultural; 1986; incluindo "Piaget - Vida e Obra" e as traduções de: "A Epistemologia Genética"; "Sabedoria e ilusões da Filosofia" e "Problemas de Psicologia Genética" de Jean Piaget.
- PENROSE, "A roupa nova do rei", São Paulo: Editora Campus, 1991 (tradução de original de 1989).
- PESSIS-PASTERNAK, G. "Do caos à inteligência artificial". São Paulo, Editora da UNESP, 1992
- PIAGET, Jean: "O Juízo e o Raciocínio da Criança", 1924.
- PIAGET, Jean: "A Representação do Mundo na Criança", 1924
- PIAGET, Jean; "The child's conception of physical causality". London, Ed. Kegan Paul, 1930. Original "A Causalidade Física na Criança"; 1927
- PIAGET, Jean: "The Moral Judgement of the Child", Routledge and Kegan Paul, 1932, citado em [Brearley 1976] (Original francês "Le Jugement Moral Chez l'Enfant de 1932)

- PIAGET, Jean: "The Origins of Intelligence in the Child", Routledge and Kegan Paul, N.Y.; Norton, 1952, citado em [Brearley 1976] e em [Drescher 1991] (Original francês "La Naissance de l'Intelligence chez l'Enfant" de 1936)
- PIAGET, Jean: "Construction of Reality in the Child", Routledge and Kegan Paul, N.Y.; Ballentine, 1954, citado em [Brearley 1976] e em [Drescher 1991] (Original francês "La Construction du Réel chez l'Enfant" de 1937)
- PIAGET, Jean: "The Child's Conception of Number", Routledge and Kegan Paul, N.Y.; Norton, 1952, citado em [Brearley 1976] e em [Drescher 1991] (Original francês "La Genèse du Nombre chez l'Enfant" de 1941)
- PIAGET, Jean: "Le développement des quantités chez l'enfant". Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, 1941; "O Desenvolvimento das Quantidades Físicas na Criança"
- PIAGET, Jean: "Classes, Relações e Números", 1942.
- PIAGET, Jean: "A formação do símbolo na criança", Rio de Janeiro, Zahar editores, 1978. Original "La Formation du Symbole chez l'Enfant"; 1946
- PIAGET, Jean: "La Psychologie de l'Intelligence"; 1947
- PIAGET, Jean; INHELDER; Barbel: "The Child's Conception of Space", Routledge and Kegan Paul, 1956, citado em [Brearley 1976]. (Original francês "La Representation de l'Espace chez l'Enfant" de 1948)
- PIAGET, Jean; GRIZE, Jean-Blaise: "Ensaio de Lógica Operatória", Globo, Porto Alegre, 1976. (Original francês "Traité de Logique. Essai de Logistique Opératoire" de 1949)
- PIAGET, Jean: "Introduction à l'Épistémologie Génétique"; 3 volumes; 1950
- PIAGET, Jean: "De la Logique de l'Enfant à la Logique de l'Adolescent"; de 1955
- PIAGET, Jean; INHELDER; Barbel: "Gênese das Estruturas Lógicas Elementares", Zahar Editores, Rio de Janeiro, 1976 (Original francês "La Genèse des Structures Logiques Élémentaires" de 1959)
- PIAGET, Jean; INHELDER; Barbel, Smezniska A.: "The Child's Conception of Geometry", Routledge and Kegan Paul, 1960.
- PIAGET, Jean: "Seis estudos de psicologia", Rio de Janeiro, Editora Forense, 1969. Original "Six Études de Psychologie"; 1964
- PIAGET, Jean; INHELDER; Barbel: "The Psychology of the Child", N.Y.; Basic Books; 1969, citado em [Drescher 1991].
- PIAGET, Jean; "O raciocínio na criança"; Rio de Janeiro: Editora Record, 1967
- PIAGET, Jean: "Sagesse et Illusions de la Philosophie", Presses Universitaires de France, Paris, 1969 (Traduzido em OS PENSADORES, PIAGET, Coleção da Abril Cultural; 1986).
- PIAGET, Jean: "L'épistémologie Génétique", Presses Universitaires de France, Paris, 1970 (Traduzido em OS PENSADORES, PIAGET, Coleção da Abril Cultural; 1986).
- PIAGET, Jean: "Problèmes de Psychologie Génétique", Denöel, Paris, 1972 (Traduzido em OS PENSADORES, PIAGET, Coleção da Abril Cultural; 1986).

- PIAGET, Jean. "A linguagem e o pensamento na criança", Riode Janeiro, edições Riode Janeiro, Fundo de Cultura, 1973.
- PIAGET, Jean: "Biologia e conhecimento"; Petrópolis, Editora Vozes, 1973.
- PIAGET, Jean: "Études d'Épistémologie Génétique"; diversos volumes (mais de 30), 1957 a 1976
- PIAGET, Jean: "A Equilíbrio das Estruturas Cognitivas - Problema Central do Desenvolvimento", Zahar Editores, Rio de Janeiro, 1976 (Original francês L'équilibration des structures cognitives - Problème central du développement"; Paris, Preeses Universitaires de France, parte da série Études d'Épistémologie Génétique; 1975).
- PIAGET, Jean; GRIZE, Jean-Blaise: "Ensaio de Lógica Operatória", Globo, Porto Alegre, 1976.
- PIAGET, Jean; INHELDER; Barbel: "Gênese das Estruturas Lógicas Elementares", Zahar Editores, Rio de Janeiro, 1976.
- PIAGET, Jean; INHELDER; Barbel, Smezsinska A.: "The Child's Conception of Geometry", Routledge and Kegan Paul, 1960, citado em [Brearley 1976].
- PIAGET, Jean; INHELDER; Barbel: "The Groath of Logical Thinking", Routledge and Kegan Paul, citado em [Brearley 1976].
- PIAGET, Jean & INHELDER, Bärbel "La Genèse des Structures Operatoires Élémentaires". Delachaux et Niestlé, Neuchatêl, 1959 (ed. bras. Gênese das Estruturas Lógicas Elementares, 3ª edição, Zahar, 1983).
- PIAGET, Jean "Essai de Logique Operatoire" Dunod. Paris, 1971. (Ed. Bras. Ensaio de Lógica Operatória, Globo, Porto Alegre, 1976).
- PIAGET, Jean; INHELDER; Barbel: "A Psicologia da Criança", Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1993.
- PIERRE Morell e WILLIAM T. Norton; "Myelin", Scientific American, 1980.
- POPPER, Karl R. & ECCLES, John C.. "O Eu e seu cérebro", São Paulo, Papirus, 1977
- PULEO, P. F. "Representación del Conocimeinto Mediante Alografos". Mérida, Venezuela: Departamento de Computación. Escuela de Ingeniería de Sistemas. Universidad de los Andes, 1992
- PYLYSHYN, Z. W.; "The Imagery Debate: Analogue Media Versus Tacit Knowledge". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- QUILLIAN, M. R., "Semantic Memory". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- RAPPAPORT, C. R. et al. "Psicologia do Desenvolvimento"- Volume 1. São Paulo: EPU, 1981
- RAPPAPORT, C. R. et al. "Psicologia do Desenvolvimento"- Volume 2. São Paulo: EPU, 1981
- RAPPAPORT, C. R. et al. "Psicologia do Desenvolvimento"- Volume 3. São Paulo: EPU, 1981
- RAPPAPORT, C. R. et al. "Psicologia do Desenvolvimento"- Volume 4. São Paulo: EPU, 1981

- REICH, W. "Character analysis". Londres: Vision Press, 1970
- RICH, E.; KNIGHT, K. "Inteligência Artificial". Rio de Janeiro: Markon Books do Brasil Editora Ltda., 1994.
- RICHARD, D. "Neurobiologie- Le Système nerveux: système de communication". Toulouse: Hachete, 1990
- RICHARD, Jean-François. "Les Activités Mentales"; Paris: Armand Polin, 1990.
- RICHARDSON, Jon T., PALMER, Mark R., LIEPINS, G., HILLIARD, M. Some guidelines for genetic algorithms with penalty functions. ICGA'89
- RILEY, D. et al. "Authoring and Evaluation of Hipermedia for Education"; Computer Assisted Learning, v.18, n.13, p.171-177, 1992.
- RITA Levi-Montalcini e PIETRO Calissano; "The Nerve-Growth Factor"; Scientific American. 1979.
- RODRIGUES, J. C. "Antropologia e comunicação: princípios radicais". Rio de Janeiro: Espaço e Tempo, 1989.
- ROSCH, E., "Principles of Categorization". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- RICH, E., KNIGHT, K.. "Inteligência Artificial". Rio de Janeiro: Markon Books do Brasil Editora Ltda, 1994, p. 722.
- RICHARD, Jean-François. "Les Activités Mentales"; Paris: Armand Polin, 1990.
- ROBBINS, S. - "Organization Theory: The structure and design of organizations". Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1983.
- RUMELHART, D. E.; SMOLENSKY, P.; McCLELLAND, J. L.; HINTON, G. E., "Schemata and Sequencial Thought Processes in PDP Models". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- RUMELHART, D. E., HINTON, G. E. & WILLIAMS, R. J., "Learning Internal Representations by Error Propagation". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- SANTOS, Neri dos. "Ergonomia cognitiva"; Florianópolis: UFSC, 1990. (Apostila do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção).
- \_\_\_\_\_. "Ergonomia das Interfaces Homem-Computador". Florianópolis: UFSC, 1990. (Apostila do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção).
- SAUSSURE, F. "Curso de linguística geral", 16 ed. São Paulo: Editora Cultrix Ltda, 1991

- SEARLE, J. R. "Minds, Brains and Programs" [Behavioral and Brain Sciences, 1980]. In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- SCHMIDT, D. A., "Denotational Semantics A Methodology for Language Development". Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, Iowa (1986).
- SCHANK, R. C. & ABELSON, R. P., "Scripts, Plans, Goals and Understanding". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- SCRAGG, Greg "Semantic Nets as Memory Models *Computational Semantics*" In: Fundamental Studies in Computer Science v.4, Amsterdam North-Holland. 1976 eds. E. Charniak & Y. Wilks pp. 101-212.
- SHEPARD, R. N. & METZELER, J., "Mental Rotation of Three-Dimensional Objects". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- SIMON, H., KAPLAN, C. "Foundations of Cognitive Science". In: Foundations of Cognitive Science, Cambridge, Mass: The M.I.T. Press, 1989
- SMITH, E. & OSHERON, D., "Conceptual Combination with Prototype Concepts". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- SPILLMAN, Richard Genetic Algorithms. Dr. Dobb's Journal. M&T Pub. Inc. San Mateo 18(2), February, 1993.
- STEINBUCH, K. "Fundamentos de uma Antropologia Cibernética". In: Nova Antropologia: O Homem em sua existência biológica, social e cultural. Organizada por GADAMER, H. G. e VOGLER, P. São Paulo: EPU, Editora da Universidade de São Paulo, 1977, vol. 1 de 7.
- STEWART, John: "Sciences Cognitives: enjeux scientifiques et politiques"; Revista Terminal 55, out/nov./1991.
- STOLL, R. R. Set Theory and Logic. W. H. Freeman and Company, S. Francisco and L. London, 1963.
- SUPPES, Patrick Axiomatic Set Theory. New York, Dover Publications Inc. 1960. 2<sup>nd</sup> edition 1972.
- TAVEIRA Filho, A. D. - Ergonomia Participativa: Uma abordagem Efetiva em Macroergonomia. In: Produção. Vol 3. número 2, outubro/1993.
- TIBERGTHIEN, G. "Modèles de l'activité cognitiv". In: Psychologie Cognitive- Modèles et Méthodes Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble, 1991
- TURING, A. M. "Computing Machinery and Inteligence" [MIND, A Quaterly Review of Psychology and Philosophy, 1950] In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- TVERSKY, A., "Features of Similarity". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-

- TVERSKY, A. & KAHNEMAN, D. "Extensional Versus Intuitive Reasoning". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- ULLMAN, S. "Visual Routines". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-
- VALMAYOR, Alfredo Fernandez et al. "Educational and Research Utilization of a Dynamic Knowledge base"; Computer Assisted Learning, v.18, n.13, p.51-651, 1992.
- VON BERTALLANFFY, L. Teoria Geral dos Sistemas. In Série de Ciências Sociais: Teoria dos sistemas, p. 7-15, 1976
- VON FOERSTER, H. On self-organizing systems and their environments. In: Self-organizing systems. New York, Pergamon. 1960.
- VON NEUMANN, J. "Theory of self-reproducing automata". Urbana: Editora A. W. Burks, University of Illinois Press, 1966
- WALLICH, Paul. "Rapid Recall", Scientific American, julho de 1992, pg. 19.
- WAH, L., LI: "Computers for symbolic processing". In: Proceedings of the IEEE, Vol. 77, N<sup>o</sup> 4, Abr 1989.
- WATERMAN, D.A. "A guide to expert systems"; Addison-Wesley Publishing Co., 1986.
- WAZLAWICK, Raul S. Um Papel para a Lógica Operatória de Jean Piaget na Representação do Conhecimento do Senso Comum. In: Anais do Simpósio Internacional de Epistemologia Genética. São Bernardo do Campo, 1990.
- WAZLAWICK, Raul S. Using an Adaptation of Piaget's Operative Logic of Classes for Analyzing Classification Systems. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> ASIS SIG/CR Classification Research Workshop. Washington D.C. Oct. 27-31, 1991. (Also published as a book: Advances in Classification Research, eds. Barbara Kwasnik and Raya Fidel.)
- WAZLAWICK, Raul S. et *all* Estudos de Lógica Operatória Relatório técnico a ser publicado. Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, SC, 1993.
- WAZLAWICK, Raul S. Agrupamento - uma Abordagem Algébrica à Classificação Natural Artigo técnico ainda não publicado. Disponível com o autor.
- WEISS, P. A. "The science of life. The living system-system for living". E.U.A, Futura Publishing Company, Inc. 1973.
- WERMUS, Henri. Formalization de Quelques Structures Initiales de la Psychogenese. "Archives de Psychologie, XLI(163), 1972.
- WERTHEIMER, M. "Productive Thinking". New York: Harper and Row, 1959.
- WIGGINS, Ralphe; "Docking a Truck Fuzzy: A Genetic Approach"; AI Expert, maio 1992, pg. 29
- WILENSKY, R.; "Meta-Planning". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-

WINNIWARTER. "The genesis model. Part I: Complexity, a measure for the evolution of self-organized systems of matter. Part II: Frequency distribution of elements in self-organized systems". Speculative Science Technology (6), p. 11-20 e 103-112, 1983.

WOODS, W. A., "What's in a Link: Foundations for Semantic Networks". In: Readings in cognitive sciences, "A perspective from psychology and artificial intelligence", editado por Allan Collins & Edward E. Smith, Morgan Kaufmann Publishers, inc. San Mateo, California (1988)-

ZIMMERMANN, H. J. "Fuzzy Set Theory and its applications" Massachussets: Kluwer Academic Publishers, 1985