

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE  
COMPUTAÇÃO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO E  
AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

# **Semiônica: Uma Proposta de Contribuição à Semiótica Computacional**

**Autor: Ricardo Ribeiro Gudwin**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP, como parte integrante dos requisitos para obtenção do Título de Professor Livre-Docente no Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial

Campinas, 2002

# Agradecimentos

---

Agradeço a todos aqueles que me incentivaram e apoiaram na elaboração deste trabalho, principalmente a meus colegas do DCA/FEEC/UNICAMP que acreditaram na minha proposta de pesquisa e me receberam no departamento de braços abertos. Agradeço especialmente aos Profs. Fernando José Von Zuben, Fernando Antônio Campos Gomide e Márcio Luiz de Andrade Netto, com quem sempre tive a liberdade de trocar idéias a respeito de meu trabalho, e muito me ajudaram a aparar as idéias que aqui coloco, de forma a torná-las mais claras e inteligíveis. Agradeço aos Profs. Lúcia Santaella e João Queiroz, da PUC-SP, que muito me auxiliaram na compreensão da semiótica de Peirce, trazendo-me muita luz no meio da tempestade. Aos meus orientados, que através de suas perguntas e discussões, e também por meio do interesse e motivação no desenvolvimento de seus trabalhos de tese, me ajudaram a materializar os conceitos aqui descritos nesta tese. Agradeço ainda a meus colegas internacionais, Dr. Gerd Doebn Henisch, Dr. Alexander Mehler, Prof. Dr. Burghard Rieger, Profa. Dra. Edwina Taborsky, Dr. Leonid Perlovsky, Prof. Rodney Clarke, Prof. Dr. Alexander M. Meystel, Prof. Dr. Claus Emeche e Lowrence Erasmus, com quem pude sempre ter um diálogo técnico de alto nível sobre o tema "Computational Semiotics" - nossa criação e contribuição para a literatura científica. Fica ainda um especial agradecimento à minha família: minha esposa Helena, e meus filhos Lucas e Júlia, pelo tempo que lhes roubei para me dedicar a este trabalho. Agradeço também às entidades de fomento brasileiro: CAPES, FAPESP e CNPq por seu suporte financeiro em minhas participações em eventos internacionais e através de uma bolsa de produtividade em pesquisa.

Dedico esta obra a todos aqueles que insistem no sonho, e fazem com que este se torne realidade por meio da perseverança e do esforço sincero.

# Resumo

---

Neste trabalho pretende-se apresentar as contribuições desenvolvidas pelo grupo de pesquisa liderado pelo autor para a formação de uma nova área interdisciplinar de pesquisas envolvendo ciência da computação, semiótica e ciências cognitivas: a área de "Semiótica Computacional" (ou também como é conhecida na comunidade internacional - "Computational Semiotics"). Esta contribuição se deu fundamentalmente pela proposição de uma abordagem pragmática à semiótica computacional que denominamos de Semiônica, e que tem evoluído desde minha tese de doutorado em 1996. Pretende-se demonstrar nas páginas deste texto, como os conceitos elementares introduzidos em minha Tese de Doutorado em 1996 foram sendo complementados pelas teses por mim orientadas e pelos artigos publicados de forma a melhor conceitualizar e melhor fundamentar essa nova área, buscando diferentes aplicações práticas de engenharia onde esses conceitos pudessem ser utilizados de maneira proveitosa. Para efeito de comparação, diversas outras abordagens dentro da semiótica computacional são apresentadas e detalhadas ao longo do texto.

**Palavras Chave:** Sistemas Inteligentes, Inteligência Artificial, Semiótica, Engenharia do Conhecimento, Cognição Artificial.

# Abstract

---

In this work, we intend to present the contributions developed by the research group led by the author to the foundation of a new interdisciplinary research area involving computer science, semiotics and cognitive sciences: the field of Computational Semiotics. This contribution is basically due to the proposition of a pragmatic approach to computational semiotics which we named "semionics", being worked on since my Ph.D. thesis in 1996. We intend to show in this text how the elementary concepts introduced in my Ph.D. thesis in 1996 were being summed up by the thesis I advised and by the articles we published in literature, with the hope of bringing better foundations to this field, and always searching for different engineering applications where those concepts could be used with benefit. For comparison purposes, many other different approaches were also presented and detailed along the text.

**Keywords:** Intelligent Systems, Artificial Intelligence, Semiotics, Knowledge Engineering, Artificial Cognition.

# Índice

---

<b>1.</b>	<b><i>Introdução</i></b>	<b>1</b>
1.1	<b>Prólogo</b>	<b>1</b>
1.2	<b>Materiais e Métodos</b>	<b>3</b>
1.3	<b>Histórico da Pesquisa</b>	<b>4</b>
1.4	<b>Outras Contribuições</b>	<b>9</b>
1.5	<b>Organização da Tese</b>	<b>10</b>
1.6	<b>Resumo</b>	<b>11</b>
<b>2.</b>	<b><i>Semiótica Peirceana</i></b>	<b>12</b>
2.1	<b>Introdução</b>	<b>12</b>
2.2	<b>Semiótica Peirceana : Aspectos Gerais</b>	<b>14</b>
2.2.1	Objeto	14
2.2.2	Interpretante	15
2.3	<b>As Categorias da Experiência</b>	<b>16</b>
2.3.1	Primeiridade	16
2.3.2	Secundidade	17
2.3.3	Terceiridade	17
2.4	<b>Fenômeno da Semiose</b>	<b>18</b>
2.5	<b>Tricotomias<sup>1</sup> dos Signos</b>	<b>19</b>
2.5.1	Primeira Tricotomia	19
2.5.2	Segunda Tricotomia	20
2.5.3	Terceira Tricotomia	21
2.6	<b>Classes de Signos</b>	<b>22</b>
2.7	<b>Resumo</b>	<b>23</b>
<b>3.</b>	<b><i>Agentes Autônomos</i></b>	<b>24</b>
3.1	<b>Introdução</b>	<b>24</b>
3.2	<b>Agentes</b>	<b>26</b>
3.2.1	Uma Noção Fraca para Agentes	26
3.2.2	Uma Noção Forte para Agentes	27
3.2.3	Outros Atributos para Agentes	27
3.2.4	Outras Definições de Agente	27
3.3	<b>Arquitetura de Agentes</b>	<b>28</b>
3.3.1	Enfoques Clássicos: Arquiteturas Deliberativas	28
3.3.2	Enfoques Alternativos: Arquiteturas Reativas	30
3.3.3	Arquiteturas Híbridas	31
3.4	<b>Tipologias de Agentes</b>	<b>32</b>
3.5	<b>Linguagens de Agentes</b>	<b>36</b>
3.5.1	Linguagens para o Desenvolvimento de Agentes	36
3.5.2	Linguagens para a Interação entre Agentes	37
3.6	<b>Agentes e o Desenvolvimento de Sistemas</b>	<b>38</b>
3.6.1	Objetos e Agentes	38
3.6.2	Desenvolvendo Agentes	40

3.7	<b>Resumo</b>	41
4.	<b><i>O Controle Situacional Semiótico de Pospelov</i></b>	42
4.1	<b>Introdução</b>	42
4.2	<b>Modelos Semióticos</b>	45
4.3	<b>Fundamentos de Controle Situacional</b>	47
4.4	<b>Rede de Situações Discretas (DSN)</b>	48
4.5	<b>Linguagem de Controle Situacional</b>	50
4.5.1	Microdescrição	50
4.5.2	Macrodescrição	53
4.6	<b>Conhecimento Semiótico</b>	53
4.7	<b>Resolvedores Semióticos</b>	55
4.8	<b>Resumo</b>	59
5.	<b><i>Autognomes: Sistemas Semióticos Pragmáticos</i></b>	60
5.1	<b>Introdução</b>	60
5.2	<b>Filosofia dos Atos</b>	61
5.2.1	Categorias Universais	62
5.2.2	Axiologia Pragmática	63
5.2.3	Teoria da Investigação Pragmática	63
5.2.4	Sistema Formal de Atos	66
5.2.5	Lógica Pragmática	66
5.3	<b>Tecnologia dos Autognomes</b>	67
5.3.1	Sistemas Multi-Enclaves	67
5.3.2	Enclaves Auto-organizacionais	68
5.3.3	Exemplo Ilustrativo	70
5.4	<b>Resumo</b>	70
6.	<b><i>A Semiose Multi-Resolucional de Albus-Meystel</i></b>	72
6.1	<b>Introdução</b>	72
6.2	<b>A Arquitetura de um Sistema Inteligente</b>	73
6.2.1	Sensores	73
6.2.2	Atuadores	73
6.2.3	Processamento Sensorial - Percepção	73
6.2.4	Modelo do Mundo	74
6.2.5	Julgamento de Valores	74
6.2.6	Geração de Comportamento	74
6.2.7	Integração entre os Módulos	75
6.3	<b>Arquitetura de Referência para um Sistema Inteligente</b>	75
6.4	<b>Panorama Semiótico para Sistemas Inteligentes</b>	77
6.4.1	Diagrama Six-Box	77
6.4.2	O Processo de Extração de Significado	78
6.5	<b>A Semiose de Meystel e os Sistemas Inteligentes</b>	81
6.6	<b>Resumo</b>	82
7.	<b><i>Outras Abordagens</i></b>	83
7.1	<b>Introdução</b>	83

7.2	<b>A Semiótica Organizacional</b>	<b>83</b>
7.3	<b>Os Sistemas de Processamento Cognitivo Semióticos de Rieger</b>	<b>85</b>
7.4	<b>Os Agentes Semióticos de Rocha-Joslyn</b>	<b>86</b>
7.5	<b>Os Sistemas Intelectuais de Perlovsky</b>	<b>88</b>
7.6	<b>A Abordagem Ecológica Semiótica de Prueitt</b>	<b>89</b>
7.7	<b>Resumo</b>	<b>90</b>
<b>8.</b>	<b><i>Semiônica e Síntese Semiótica</i></b>	<b>91</b>
8.1	<b>Introdução</b>	<b>91</b>
8.2	<b>Intérprete e Espaço de Representação</b>	<b>92</b>
8.3	<b>Signos, Interpretantes e Semioses</b>	<b>96</b>
8.4	<b>Sinais, Informação, Signos e Conhecimento</b>	<b>97</b>
8.5	<b>Semiônica - Uma Proposta de Síntese Semiótica</b>	<b>98</b>
8.5.1	Signlets	99
8.5.2	Interpretons	103
8.5.3	As Redes Semiônicas e a Síntese Semiótica	106
8.5.4	Casos Especiais	107
8.5.5	Superlugares	108
8.6	<b>Redes Semiônicas e Aplicações de Sistemas e Eventos Discretos</b>	<b>109</b>
8.6.1	Modelagem de Organizações Empresariais	110
8.6.2	Modelagem de Sistemas Flexíveis de Manufatura	111
8.6.3	Modelagem de Sistemas Híbridos de Inteligência Computacional	112
8.6.4	Modelagem de Sistemas de Controle de Robôs Autônomos	112
8.7	<b>Resumo</b>	<b>113</b>
<b>9.</b>	<b><i>Conclusão</i></b>	<b>114</b>
<b>10.</b>	<b><i>Referências Bibliográficas</i></b>	<b>115</b>

# 1. Introdução

## 1.1 Prólogo

O estudo de sistemas inteligentes vêm sendo efetuado por pesquisadores do mundo todo, já há algumas décadas. Na verdade, se formos ser mais críticos, este estudo tem uma origem muito anterior, começando com os primeiros ensaios acerca do fenômeno que chamamos hoje de "inteligência". Desde os tempos dos gregos clássicos, o estudo do fenômeno da inteligência atrai a atenção de pensadores e pesquisadores. Inicialmente restrito ao contexto filosófico, esse estudo passou a integrar o domínio das ciências da computação a partir da interação multidisciplinar entre diversas áreas do conhecimento, incluindo a filosofia, a matemática, a psicologia, as ciências da cognição, a linguística e mais recentemente a biologia com as ciências da computação [RUSSELL & NORVIG 1995]. Um marco importante foi a cunhagem do termo "Inteligência Artificial" por John MacCarthy em 1956, durante um Workshop histórico no Dartmouth College [RUSSELL & NORVIG 1995], onde os princípios dessa nova ciência foram postulados.

Durante muito tempo, a inteligência artificial foi dominada e caracterizada pelo paradigma da computação simbólica, iniciado pela hipótese dos sistemas de símbolos físicos [NEWELL 1980] e do "Nível do Conhecimento" [NEWELL 1982] de Newell, bem como todas as tentativas em se gerar sistemas gerais de representação e processamento de conhecimento, tais como o KL-ONE de Brachman & Schmolze [BRACHMAN & SCHMOLZE 1985], o SOAR de Laird, Newell e Rosenbloom [LAIRD ET.AL. 1987], o ACT\* e o PUPS de Anderson [ANDERSON 1989]. A história desse desenvolvimento encontra-se bem documentada em diversos livros tratando da inteligência artificial, sendo especialmente bem detalhada em [JORNA 1990].

Entretanto, a inteligência artificial baseada no paradigma simbólico foi duramente criticada devido a uma série de problemas aparentemente insolúveis dentro deste paradigma [VERSCHURE 1993]. Dentre esses problemas, destacamos os seguintes:

- **Problema da Falta de Fundamento Simbólico (*Symbol Grounding Problem*):** Este problema decorre da maneira como se atribui o significado a símbolos em representações simbólicas. Basicamente, o valor verdade de uma proposição é derivado somente dos valores verdades de outras proposições, criando uma teia de referências mútuas, que aparentemente se sustenta, mas que não tem fundamento no mundo real que supostamente estaria sendo



descrito pelo símbolo. Esse é o problema mais patente da abordagem simbólica, dando origem a diversos outros problemas.

- **Problema do Enquadramento (*Frame problem*):** Este problema indica a impossibilidade de se manter um modelo atualizado de um mundo complexo, ao mesmo tempo em que atua sobre esse mundo em tempo real, uma vez que o tempo necessário para atualizar esse modelo cresceria exponencialmente, o que faria com que o sistema ficasse completamente absorto em atualizar o modelo do mundo e deixasse de cumprir outras tarefas.
- **Problema da Visão de Referência (*Frame-of-reference Problem*):** Este problema está ligado às consequências da falta de fundamento simbólico. Ele é caracterizado pela escolha de um determinado vocabulário de termos (ou seja, uma ontologia) para caracterizar um domínio ou uma situação. A primeira consequência disso é que esse vocabulário está viesado em relação a quem o originou, não sendo, necessariamente o melhor para descrever uma situação ou um conhecimento geral. Talvez um outro vocabulário ou terminologia pudesse ser mais apropriado para descrever o conhecimento pretendido. Da mesma maneira, duas descrições diferentes de um mesmo fenômeno podem tornar-se incompatíveis, caso não se referenciem uma à outra. A segunda consequência advém da falta de fundamento simbólico. Múltiplos indivíduos, quando analisando ou revisando uma dada base de conhecimento poderão discordar do significado terminológico atribuído a cada termo e, em função disso fazer uma interpretação diferente em relação ao conhecimento ligado a este termo.
- **Problema da Contextualização (*Situatedness Problem*):** A contextualização de um sistema inteligente diz respeito ao fato de que este interage com um mundo parcialmente desconhecido, imprevisível e em constante mudança. Caso o sistema tente se adaptar para incorporar essa mudança, ele acaba por incorrer no problema do enquadramento. Portanto, para evitar o problema do enquadramento, é necessário que apenas uma informação contextual e localizada, pertinente às decisões imediatas do sistema, seja atualizada e considerada. Em outras palavras, sistemas inteligentes deveriam ser contextualizados. Entretanto, os sistemas de inteligência artificial clássicos não são situados, pois consideram o conhecimento de uma maneira global, normalmente ainda dependente de uma interpretação humana.

Como bem apresenta Stan Franklin em [FRANKLIN 1995], as limitações do paradigma simbólico levaram ao aparecimento de um novo paradigma no âmbito dos sistemas inteligentes que ficou conhecido como o *paradigma numérico*. O ápice desse novo paradigma foi a cunhagem do termo “Inteligência Computacional”, em 1992 por James Bezdek [BEZDEK 1994], agrupando um conjunto de novas tecnologias que, ou surgiam ou ressurgiam para dominar o cenário dos sistemas inteligentes: os sistemas e a lógica fuzzy, as redes neurais e a computação evolutiva.

O paradigma numérico, subsimbólico, parecia resolver a maioria dos problemas apresentados pelo paradigma simbólico, tendo ganhado tanto ímpeto que fez ressurgir o interesse pelos sistemas inteligentes como área de pesquisa. O desenvolvimento da inteligência computacional foi ainda mais acentuado devido ao seu uso prático e barato em produtos da eletrônica de consumo, que ajudaram a popularizar a área.

Entretanto, após o deslumbre inicial com a inteligência computacional, os pesquisadores dos sistemas inteligentes acabaram por constatar uma coisa. Apesar de sua eficiência em diversas áreas onde o paradigma simbólico apresentava

deficiências, a inteligência computacional não podia superar a inteligência artificial (baseada no paradigma simbólico) em uma série de problemas onde este se apresentava muito apropriado e muito mais eficiente. De uma maneira concisa: os paradigmas não eram independentes, mas sim complementares. Esta constatação abriu toda uma nova discussão entre os paradigmas simbólico e numérico, na tentativa de se criar maneiras de integrar esses dois paradigmas de modo a cobrir todos os aspectos simbólicos e subsimbólicos, dos sistemas inteligentes.

Foi dentro do âmbito deste debate que apareceu o papel da semiótica e sua colaboração para a unificação de uma teoria dos sistemas inteligentes. A semiótica, uma área de estudos vislumbrada por John Locke em seu ensaio de 1689: "An Essay Concerning Human Understanding", teria por objetivo estudar os diferentes tipos de signos, bem como o processo por meio do qual estes possuem a qualidade de significar e portanto representar o conhecimento. A semiótica, entretanto, só passou a figurar como ciência, após os desenvolvimentos de Charles Sanders Peirce, um filósofo americano que viveu no final do século XIX e começo do século XX. Peirce deu corpo e substância à semiótica, elevando-a ao status de uma teoria. A proposta de Peirce foi, posteriormente, enriquecida por diversos autores.

Com relação à sua inter-relação com os sistemas inteligentes, uma diferença crucial entre a proposta semiótica e a abordagem simbólica da inteligência artificial clássica era que a semiótica considerava o símbolo como apenas um, dentre outros tipos de signos. De maneira correlata, essa consideração de múltiplos e diferentes tipos de signos permitia incluir as contribuições trazidas pela abordagem numérica, subsimbólica, da inteligência computacional, tornando-se a semiótica, um elemento agregador e unificador dentre as abordagens simbólicas e numéricas.

Neste trabalho, pretendemos demonstrar como a semiótica pôde trazer contribuições ao estudo dos sistemas inteligentes, fazendo nascer uma nova área de estudos que acabou por ser denominada de "Semiótica Computacional"<sup>1</sup>. Pretendemos ainda demonstrar como tivemos uma participação ativa no nascimento desta nova área, por meio da proposição de uma abordagem particular, que denominamos de "Semiônica", entendida como uma possível metodologia de implementação dentro do escopo da Semiótica Computacional.

## 1.2 Materiais e Métodos

As contribuições que a Semiótica pode trazer para a área de Sistemas Inteligentes envolvem basicamente duas vertentes de trabalho. A primeira, com um escopo puramente teórico, visa o desenvolvimento de modelos matemáticos adequados a sustentar um corpo de teoria sendo criado como fundamento para uma "Teoria de Sistemas Inteligentes" baseada na semiótica. A segunda, visa o estudo de nichos de aplicações, onde o modelo teórico sendo desenvolvido possa ser testado e

---

<sup>1</sup> N. do A.: Em inglês, existem duas denominações que associam a área de semiótica a sistemas computacionais. A primeira delas, "Computer Semiotics" visa uma análise semiótica de sistemas computacionais, mais especificamente a área de interfaces humano-computador, sob o ponto de vista da semiótica. Na segunda delas, "Computational Semiotics", a abordagem é completamente diferente, e visa a síntese do processo de semiose em sistemas computacionais. Infelizmente, a tradução em português para ambos os termos acabou ficando "Semiótica Computacional", embora talvez a área de "Computer Semiotics" pudesse melhor ser traduzida como "Semiótica do Computador" - o que não foi feito historicamente, gerando algumas confusões entre profissionais trabalhando nestas áreas. Em nosso trabalho, iremos utilizar "Semiótica Computacional" como uma tradução para "Computational Semiotics", ou seja, a síntese de processos de semiose em sistemas computacionais.

validado. Dentre os nichos de aplicações visados, os sistemas autônomos (também chamados de agentes autônomos, as vezes de agentes autônomos inteligentes, as vezes somente agentes inteligentes) despontam como uma classe de sistemas particularmente interessante para este propósito, devido ao fato que autonomia e inteligência são duas características que muitas vezes são complementares.

As contribuições arroladas nesta tese foram desenvolvidas visando contemplar ambas partes, utilizando para isso diferentes recursos (tanto computacionais como de pessoal). Para os desenvolvimentos teóricos, utilizou-se um modelo de desenvolvimento em grupo, utilizando para isso uma grande interação com alunos de mestrado e doutorado, mas também, e talvez principalmente, uma forte cooperação com pesquisadores internacionais interessados neste tema (alguns deles citados nos agradecimentos desta tese). Esta cooperação foi sendo alinhavada e consolidada, fruto da participação nos principais eventos relacionados a este tema, e por meio de visitas técnicas às instituições a que estes pesquisadores são filiados. Os desenvolvimentos práticos foram executados com o envolvimento de alunos locais e também por meio de colaboração externa, principalmente de alunos do curso de pós-graduação em Comunicação e Semiótica da PUC-SP. Nossa principal meta foi desenvolver métodos, modelos e ferramentas que suportassem o tratamento conjunto de controle e informação na implementação de sistemas autônomos dotados de comportamento inteligente. Para esta finalidade, conhecimentos advindos de outras propostas de utilização de semiótica junto a sistemas inteligentes foi empregada. Devido à sua forte interação com o ambiente, os sistemas autônomos (ou agentes autônomos), foram escolhidos como um nicho de aplicação para o teste de uma grande maioria de nossas propostas. Além disso, o interesse científico no estudo de sistemas autônomos foi também motivado pelo seu evidente potencial em aplicações industriais (e.g. principalmente no mercado de Internet, que envolve comércio eletrônico, auxílio ao desktop e atividades colaborativas).

### **1.3 Histórico da Pesquisa**

Abordadas de maneira isolada, as áreas de sistemas inteligentes, semiótica e ciências cognitivas contam já com uma história relativamente antiga. As primeiras iniciativas de abordar conjuntamente as áreas de semiótica e sistemas inteligentes surgiram de maneira isolada, na Rússia e nos Estados Unidos, a partir das décadas de 60 e 70. Na Rússia, uma proposta de abordagem surgiu a partir do trabalho de Pospelov [POSPELOV 1970; POSPELOV 1991], tendo originado toda uma área de pesquisas que, em virtude de ter sido publicada majoritariamente somente em russo, continua até hoje pouco conhecida da ciência ocidental. Nos Estados Unidos, um esforço semelhante nasceu do trabalho de Pendergraft em tradução mecanizada [PENDERGRAFT 1964; PENDERGRAFT 1993]. A semelhança do trabalho de Pospelov, os desenvolvimentos do trabalho de Pendergraft permaneceram também desconhecidos na literatura, principalmente por se tratarem de pesquisas desenvolvidas por empresas comerciais, que por questões de interesses comerciais não publicaram seus resultados em veículos abertos de divulgação científica. Assim, apesar destes trabalhos terem origem nos anos 60 e 70, um maior interesse em investigar as relações entre a semiótica e os sistemas inteligentes começou a aparecer na comunidade científica ocidental por volta de 1995. A partir de 1995, diversas conferências internacionais dedicadas ao estudo conjunto de semiótica e sistemas inteligentes começaram a aparecer. Dentre outras, podemos citar:

- Workshop on Architectures for Semiotic Modeling and Situation Analysis in Large Complex Systems, 10<sup>o</sup> IEEE International Symposium on Intelligent Control, Monterey, CA, 1995.
- International Conference on Intelligent Systems: A Semiotics Perspective, Maryland, USA, 20-23 de outubro de 1996;
- Workshop on Control Mechanisms for Complex Systems: Issues of Measurement and Semiotic Analysis, Las Cruces, New Mexico, USA, 8-12 de dezembro de 1996.
- Second Workshop on Applied Semiotics, September 15, Smolenice Castle Slovakia, 1997.
- ISAS'97 - Intelligent Systems and Semiotics - A Learning Perspective - International Conference - 22-25/September - Gaithersburg, USA, 1997.
- ISIC/CIRA/ISAS'98 - IEEE International Symposium on Intelligent Control/ Computational Intelligence in Robotics and Automation/ Intelligent Systems and Semiotics - 14-18/September - Gaithersburg, USA, 1998.
- ISIC/ISAS'99 - IEEE International Symposium on Intelligent Control, Intelligent Systems and Semiotics - 15-17 de Setembro de 1999, Cambridge, MA- USA.
- 7<sup>th</sup> International Congress of the International Association for Semiotic Studies - IASS/AIS - Sign Processes in Complex Systems - October, 7-11, 1999, Dresden, Germany.
- Sessão Especial com título “Evaluating Intelligence of Systems” no 2000 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics - SMC2000
- 2nd International Conference on Semiotics, Evolution and Energy - October 6-8, 2001, University of Toronto, Toronto, Canada
- ACE2002 - Agent Construction and Emotions - A Symposium at the 16th European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2002), April 2-5, 2002, Vienna, Austria, EU
- Seção “Semiotics and the Computer” 10th International Congress of the German Association for Semiotic Studies (DGS), University of Kassel (Germany), July 19-21, 2002.

Dentre estas, de um especial interesse foi um grupo de conferências - o International Conference on Intelligent Systems and Semiotics (ISAS), que ocorreu em 1996, 1997 e 1998 em Gaithersburg, Maryland, nos Estados Unidos, sediados e organizados pelo NIST (National Institute on Standards in Technology), e patrocinados pelo IEEE. Em 1999, esta conferência realizou-se em Cambridge, Massachusetts.

Diversas linhas de pesquisa se originaram ou se consolidaram nestas conferências. Em 1991, James Albus havia publicado um artigo seminal em que analisava as propriedades e atributos que um sistema inteligente deveria possuir [ALBUS 1991]. A partir de sua associação com Alex Meystel e sua semiótica multiresolucional [MEYSTEEL 1996], uma nova linha de pesquisa começava a se desenvolver [ALBUS 1997, ALBUS & MEYSTEEL 1997], tentando caracterizar e modelar os princípios básicos por trás do comportamento dos sistemas inteligentes. Essa linha de pesquisa iria se consolidar com o lançamento dos livros **Engineering of Mind** [ALBUS & MEYSTEEL 2001] e **Intelligent Systems - Architecture, Design and Control** [MEYSTEEL & ALBUS 2001].

Outros pesquisadores contribuíram também para alavancar essa área de pesquisa. Dentre outros, poderia citar os trabalhos de Perlovsky em "Sistemas Intelectuais" [PERLOVSKY 2000], os trabalhos de Joslyn e Rocha sobre semiótica em sistemas de controle e agentes semióticos [JOSLYN 2001; JOSLYN & ROCHA 2000, ROCHA 2000], os trabalhos de Rieger sobre os SCIPS - Sistemas de Processamento de Informações Cognitivas Semióticas [RIEGER 1995; RIEGER 1998; RIEGER 1999], a abordagem ecológica semiótica de Prueitt [PRUEITT 1999], as máquinas semióticas e os knowbots de Doebn-Henisch [DOEBN-HENISCH ET.AL. 1995; DOEBN-HENISCH 1996], além de diversos outros pesquisadores que expressaram seu interesse na área, sem entretanto apresentar propostas mais concretas de atuação neste sentido.

Com relação às atividades de pesquisa em nosso grupo nessa área de Semiótica junto a Sistemas Inteligentes, estas começaram com minha Tese de Doutorado [GUDWIN, 1996], que tinha por título **Contribuições ao Estudo Matemático de Sistemas Inteligentes**. Nesse trabalho, lancei os fundamentos para o que hoje podemos chamar de "Semiônica". Ele versava basicamente sobre uma ferramenta matemático/computacional que chamamos de "Rede de Objetos", que foi utilizada como modelo para alguns tipos de processos semióticos. Uma versão condensada desta tese foi publicada na forma de relatório técnico em inglês, para divulgação junto à comunidade científica internacional [GUDWIN & GOMIDE, 1997C; GUDWIN & GOMIDE, 1997D]. Os primeiros resultados da tese foram publicados internacionalmente em [GUDWIN & GOMIDE, 1997A] - **An Approach to Computational Semiotics**, que foi apresentado no *ISAS'97 - Intelligent Systems and Semiotics - A Learning Perspective*, a primeira conferência internacional que participei envolvendo os temas Semiótica e Sistemas Inteligentes, em Gaithersburg, USA. Este artigo tentava caracterizar a área de Semiótica Computacional, que estava então nascendo, o que foi feito de maneira bem pragmática com a descrição de nossa abordagem baseada em Redes de Objetos. Logo a seguir, em [GUDWIN & GOMIDE, 1997B] - **A Computational Semiotics Approach for Soft Computing** foi apresentado no IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics - SMC'97 em Orlando, USA. Nesse artigo, sugeríamos que outras metodologias aplicadas regularmente na área de Computação Flexível (outro nome dado para Inteligência Computacional) ou seja, Redes Neurais, Lógica Fuzzy e Computação Evolutiva podiam ser modeladas de maneira semelhante utilizando as Redes de Objetos. A grande vantagem em fazê-lo por meio de Redes de Objetos e não na metodologia nativa era a facilidade na criação de sistemas híbridos - ou seja - sistemas que agregassem duas ou mais destas metodologias em uma ferramenta única. Assim, metodologias tais como o uso de redes neuro-fuzzy, sistemas fuzzy-evolutivos ou qualquer outro hibridismo era grandemente facilitado. Em 1998, participei de duas grandes conferências internacionais, o IEEE WCCI'98 - World Congress on Computational Intelligence, onde apresentei o artigo [GUDWIN & GOMIDE, 1998A] - **Object Networks - A Modelling Tool** versando sobre melhorias teóricas na formulação da Rede de Objetos e o ISAS'98 - Intelligent Systems and Semiotics, onde publiquei três artigos sobre o tema: [GONÇALVES, GOMIDE & GUDWIN, 1998A] - **Fielded Object Networks as a Framework for Computer Intelligence**, [GONÇALVES & GUDWIN, 1998B] - **Semiotic Oriented Autonomous Intelligent Systems Engineering** e [GUDWIN, 1998] - **On the Generalized Deduction, Induction and Abduction as the Elementary Operators within Computational Semiotics**. No primeiro artigo, tentávamos

explorar uma nova abordagem às redes de objetos, introduzindo os chamados "objetos com campo". No segundo artigo, propusemos a rede de objetos com campo como uma ferramenta de engenharia para o desenvolvimento de sistemas inteligentes baseados em semiótica. Por fim, no terceiro artigo, destacávamos o papel dos mecanismos de inferência apontados na semiótica como os principais operadores impulsionando os algoritmos de semiótica computacional. Ainda em 1998, publiquei um capítulo de livro [GUDWIN & GOMIDE, 1998B] – **Object Networks : A Formal Model to Develop Intelligent Systems**, em um livro editado pelos Profs. W.Pedrycz e J.F.Peters: Computational Intelligence and Software Engineering. Neste artigo, vertemos para o inglês grande parte do modelo formal da rede de objetos apresentado em minha tese de mestrado, apontando-o como um modelo promissor para o desenvolvimento de sistemas inteligentes.

No período de 1997 a 1998, meus primeiros orientados de pós-graduação começaram a desenvolver suas pesquisas, aperfeiçoando a idéia de Redes de Objetos, e chegando ao conceito de Redes de Agentes. Na verdade, as Redes de Agentes constituem-se em uma especialização das Redes de Objetos, própria para ser implementada em uma ferramenta de desenvolvimento computacional genérica. Essa ferramenta de desenvolvimento foi então construída por nosso grupo, tendo sido apresentada originalmente em [GUERRERO, GOMES & GUDWIN, 1999] - **A Computational Tool to Model Intelligent Systems**, apresentado no SBAI'99 em São Paulo.

De volta às redes de objetos, ainda em 1999 tivemos o artigo [GUDWIN & GOMIDE, 1999] – **Object Networks : A Computational Framework to Compute with Words**, publicado como um capítulo em um livro editado pelos prestigiados Prof. L.A.Zadeh e J. Kacprzyk: Computing with Words in Information/Intelligent Systems.

Mais ao final de 1999, publicamos ainda mais três artigos em conferências, todos eles versando sobre diferentes questões envolvendo semiótica e sistemas inteligentes. O artigo [GONÇALVES & GUDWIN, 1999] - **Emotions: A Computational Semiotics Perspective** foi publicado no ISAS'99 em Cambridge, USA. Este artigo fazia uma especulação sobre o conceito de emoções, e sua potencial aplicação em sistemas inteligentes, considerando-se uma análise do ponto de vista semiótico. O artigo [GUDWIN, 1999A] - **Umwelts and artificial devices** foi publicado nos Anais do 2º Seminário Avançado de Comunicação e Semiótica em São Paulo e versava sobre o conceito de Umwelt, ou ambiente sensível - definido originalmente para a análise semiótica de seres vivos, e sua potencial ampliação para abranger também seres artificiais, tais como robôs e sistemas de vida artificial. O artigo [GUDWIN, 1999B] - **From Semiotics to Computational Semiotics** foi apresentado no 9<sup>th</sup> International Congress of the German Society for Semiotic Studies/ 7<sup>th</sup> International Congress of the International Association for Semiotic Studies (IASS/AIS) em Dresden, Alemanha, e tentava traçar um panorama conectando a área de semiótica clássica à área de semiótica computacional.

No começo de 2000 o primeiro de meus orientados defendeu sua tese de mestrado [GUERRERO, 2000] - **Rede de Agentes: Uma Ferramenta para o Projeto de Sistemas Inteligentes**. Nesta tese, apresentamos a definição formal da Rede de Agentes e a ferramenta de desenvolvimento computacional que foi criada para estudar sua utilização, além de fazer uma comparação desta com a própria rede de objetos. Por volta do meio do ano, um segundo orientado também defendeu sua tese [GOMES, 2000] **Contribuições ao Estudo de Redes de Agentes**. Nesta tese,

os conceitos apresentados em [GUERRERO, 2000] foram revistos e ampliados, para abranger redes hierárquicas - com a introdução do conceito de redes modulares.

Ainda em 2000, começamos a utilizar nossa ferramenta de desenvolvimento em aplicações computacionais. Assim, utilizou-se a ferramenta para o desenvolvimento de um sistema de controle de um veículo autônomo simulado computacionalmente. Publicamos relatos destes experimentos em duas conferências, uma nacional e outra internacional [FERNANDEZ ET.AL. 2000; OJEDA ET.AL. 2000]. Ao final de 2000, minha terceira orientada defendeu sua tese de mestrado [SUÁREZ 2000] - **Conhecimento Sensorial - Uma Análise segundo a perspectiva da Semiótica Computacional**, onde a ferramenta computacional de nosso grupo foi aplicada à simulação de um mundo virtual simplificado, com vistas ao estudo das diferentes formas em que o chamado “conhecimento sensorial” se estrutura. Nesta tese, apresentamos também de maneira detalhada os experimentos relatados anteriormente em [FERNANDEZ ET.AL. 2000; OJEDA ET.AL. 2000].

Em 2001, apresentamos em [GUDWIN, 2001] - **Semiotic Synthesis and Semiotic Networks** - SEE'01 - 2nd International Conference on Semiotics, Evolution and Energy - October 6-8, 2001, University of Toronto, Toronto, Canada o que talvez sejam as primeiras idéias no sentido da proposição da "semiônica" como abordagem de estudos da semiótica computacional. Por fim, em 2002, apresentamos em [GUDWIN ET.AL. 2002] - **A Proposal for a Synthetic Approach to Symbolic Semiosis** - 10th International Congress of the German Semiotic Society - 19-21 July 2002, Kassel, Germany, uma proposta de síntese semiótica utilizando a abordagem semiônica em um estudo de vida artificial, tentando recriar os processos de desenvolvimento de símbolos em organismos artificiais.

De 2000 em diante, diversos outros trabalhos foram desenvolvidos, com resultados ainda por serem publicados em canais mais adequados. Em [TATAI 2000; 2001; 2002], apresentamos o uso de técnicas semióticas para o desenvolvimento de sistemas inteligentes aplicados em jogos de computadores. Em [SOUZA E SILVA 2001A; 2001B; 2001C; 2001D] começamos a desenvolver a arquitetura de um agente inteligente seguindo princípios da semiótica Peirceana. Em [COELHO 2002], apresentamos os rudimentos para uma proposta de tese de mestrado utilizando semiótica computacional aplicada a agentes de internet. Em [LOULA 2002], apresentamos os rudimentos para uma proposta de tese de mestrado estudando os desenvolvimentos de signos em mentes de agentes inteligentes, tentando reproduzir artificialmente, por meio de simulação um experimento da etologia que estuda o desenvolvimento de processos sígnicos em macacos. Em [WEINGAERTNER 2002], realizamos um estudo com perspectivas semióticas das chamadas redes neuro-energéticas apresentadas originalmente por Yaroslavsky [YAROSLAVSKY 1992], tendo em vista seu funcionamento peculiar e original na implementação de sistemas inteligentes. Em [GUERRERO 2002], apresentamos os rudimentos para uma proposta de tese de doutorado utilizando princípios da semiótica organizacional – uma tentativa de se modelar a estrutura e funcionamento de organizações por meio da análise do fluxo de signos ocorrendo nestas organizações. Em [SUÁREZ 2002], apresentamos os rudimentos para uma proposta de tese de doutorado criando um novo modelo de redes neurais, utilizando como base as redes semiônicas proposta por nosso grupo de estudos [GUDWIN 2001]. É importante observar que os trabalhos referentes a [TATAI 2000; SOUZA E SILVA 2001A; COELHO 2002; LOULA 2002; WEINGAERTNER 2002; GUERRERO 2002; SUÁREZ 2002] são trabalhos ainda em desenvolvimento, que devem resultar, em prazos que vão de 6 meses a 2 anos,

em teses de mestrado e doutorado, bem como publicações em revistas e anais de conferência.

Com a apresentação desta tese de livre-docência, culminamos com a contribuição a esta área de pesquisa - semiótica computacional. Esta tese é o fruto de pelo menos 6 anos de proposições e aperfeiçoamentos de conceitos, constituindo-se da soma de pequenas contribuições alinhavadas nos trabalhos de pesquisa citados anteriormente. Com efeito, o leitor atento identificará nas páginas deste trabalho, excertos dos diversos trabalhos citados (do qual tivemos participação direta), constituindo-se o estado da arte para o entendimento do que seja a semiótica - ou seja, nossa modesta proposta de contribuição à semiótica computacional.

## 1.4 Outras Contribuições

Além dos trabalhos de pesquisa relatados na seção anterior, em sua grande maioria fruto de orientações na pós-graduação, é possível alinhavarmos ainda contribuições de outra natureza à área nascente de semiótica computacional. A total ausência na literatura nacional e internacional de material bibliográfico organizado sobre o tema “Semiótica e Sistemas Inteligentes” sugere que o aparecimento de um livro com esta temática poderia ser muito apropriado, sendo de interesse tanto à comunidade nacional, como à comunidade internacional com interesses na área de sistemas inteligentes. Durante os 2 últimos anos, desenvolvi e implementei o que talvez seja o primeiro curso (disciplina) de pós-graduação com o tema “Semiótica e Sistemas Inteligentes” no Brasil, e muito provavelmente também no mundo (disciplina IA005 – Semiótica e Sistemas Inteligentes, na pós-graduação da FEEC/UNICAMP). Durante o trabalho de desenvolvimento do curso, consegui reunir um vasto material bibliográfico sobre o tema. Este material vem sendo atualmente organizado de modo a se transformar no primeiro livro sobre Semiótica e Sistemas Inteligentes no mundo. Sendo o primeiro livro no assunto, no mundo inteiro, existe uma grande chance de que o livro se torne um importante material de referência para os pesquisadores da área.

Outra área onde julgo ter trazido alguma contribuição na área, é no esforço de alinhavar programas de cooperação com outras instituições de pesquisa. Dentre estes, podemos citar:

- Participação em sessão especial com o tema *Semiotics of Autonomous Information Systems* durante o ISAS'98, estabelecendo vínculos de cooperação com os Profs. Cliff Joslyn (Los Alamos National Laboratory, USA), Luís Rocha (Los Alamos National Laboratory, USA), Erich Prem (Austrian Research Institute for Artificial Intelligence, Áustria), Christopher Landauer (Aerospace Integration Science Center, USA), Kirstie Bellman (Aerospace Integration Science Center, USA)
- Participação em sessão especial com o tema *Computational Semiotics*, durante o ISAS'98, estabelecendo vínculos de cooperação com os Profs. Burghard Rieger (University of Trier, Alemanha), Alexander Mehler (University of Trier, Alemanha), Rodney Clarke (Wollongong University, Austrália), Louwrence Erasmus (INM, Alemanha), Gerd Doben-Henisch (INM, Alemanha), Paul Prueitt (BCN Group, USA).



- Organização e participação de uma sessão especial com o tema *Emotions and Intelligent Systems*, conjuntamente com os Profs. Edwina Taborsky (Bishops University) e Leonid Perlovsky (Nichols Research) para o ISAS'99.
- Convite (aceito) por parte da Profa. Edwina Taborsky (Bishops University) para a minha participação no *Board of Governors* de um grupo de pesquisa em semiótica e sistemas inteligentes o "SEE (Semiosis. Evolution. Energy) Virtual Research Institute", com verba do governo canadense e sede na Universidade de Toronto. Dentre as metas deste grupo está a criação de uma revista com artigos revisados, a ser publicada via WWW, para a qual fui escalado para ser um dos revisores. Maiores detalhes em (<http://www.library.utoronto.ca/see/>)
- Convite para a revisão do livro escrito pelo Prof. Leonid Perlovsky (Nichols Research), envolvendo semiótica e sistemas inteligentes - "Concepts of Mind: Neural Networks and Internal Models", pela Kluwer Academics.
- Participação no 9<sup>th</sup> International Semiotic Congress of the German Semiotic Society, em conjunto com o 7<sup>th</sup> IASS/AIS - World Congress of the International Association of Semiotic Studies, Dresden - Alemanha, em Outubro de 1999, com todas as despesas pagas pela organização da conferência, por indicação do Dr. Gerd Doben-Henisch (INM).
- Organização, junto com pesquisadores da University of Trier, INM e Wollongong University para a formação de um grupo internacional de estudos em semiótica computacional.
- Cooperação entre a UNICAMP e o INM – (envio de alunos de mestrado para estágio na Alemanha, com todas as despesas custeadas pelo INM), junto ao Dr. Gerd Doben-Henisch (INM-Knowbotic Systems, Alemanha), durante o período de 2000/2001.
- Organização e Realização do “I Workshop on Computational Intelligence and Semiotics”, em Campinas, de 31/05 a 01/06/2000, envolvendo Inteligência Computacional e Semiótica, em colaboração com pesquisadores da PUC-SP Comunicação e Semiótica. (vide o link a seguir:) <http://www.dca.fee.unicamp.br/projects/semiotics/TechPages/Workshop2000/index.html>.
- Organização e participação em sessão especial intitulada “Evaluating the Intelligence of Systems, no 2000 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics - SMC2000, Nashville, Tennessee, USA, 8-11 October, 2000.
- Participação, como apresentador convidado (com todas as despesas pagas), do 2nd International Conference on Semiotics, Evolution and Energy - October 6-8, 2001, University of Toronto, Toronto, Canada.
- Negociações com a empresa americana Autognomics Corporation ([www.autognomics.com](http://www.autognomics.com)), para o desenvolvimento de um projeto de pesquisa envolvendo a construção de sistemas semióticos em diversas aplicações.
- Organização e Realização do “II Workshop on Computational Intelligence and Semiotics”, em São Paulo, de 8 a 9/10/2002, envolvendo Inteligência Computacional e Semiótica, em colaboração com pesquisadores da PUC-SP (vide o link a seguir:) <http://www.digitalpeirce.org/workshop/>

## 1.5 Organização da Tese

Nos capítulos a seguir, faremos uma exposição mais detalhada do que é a Semiótica Computacional e como a Semiônica se introduz dentro deste contexto.

Como essa área é ainda uma área nascente, e talvez a bibliografia disponível não seja de fácil acesso, decidimos incluir no texto os elementos básicos envolvendo a área de semiótica e semiótica computacional, antes de apresentarmos nossa proposta da semiônica. Nos capítulos de 2 a 7, apresentaremos portanto uma revisão da teoria subjacente à área de semiótica computacional, apresentando então no capítulo 8 a nossa proposta para uma abordagem semiônica.

No capítulo 2 introduzimos os conceitos elementares da semiótica Peirceana, ressaltando aqueles que são importantes para a compreensão da abordagem semiônica. No capítulo 3, introduzimos os conceitos elementares sobre os sistemas autônomos (agentes autônomos). No capítulo 4, apresentamos o controle situacional semiótico de Pospelov [POSPELOV, 1991; SOUZA E SILVA & GUDWIN, 2001] e no capítulo 5 os autônomos de Pendergraft [PENDERGRAFT 1993]. No capítulo 6, introduzimos a semiótica multiresolucional de Albus-Meystel [ALBUS, 1991; MEYSTEEL, 1995, 1996A, 1996B; ALBUS & MEYSTEEL, 2001, MEYSTEEL & ALBUS, 2001] e no capítulo 7 fazemos uma rápida revisão de outros modelos encontrados na literatura. No capítulo 8, então, fazemos a proposição da abordagem semiônica e no capítulo 9 temos as conclusões, sendo que no capítulo 10 temos as Referências Bibliográficas.

## **1.6 Resumo**

Neste capítulo, fizemos uma introdução da área de pesquisa conhecida como semiótica computacional, contextualizando essa área de pesquisa dentro da área dos sistemas inteligentes. Fizemos um histórico da pesquisa sendo desenvolvida nesse tema no mundo, colocando uma ênfase nas contribuições de nosso grupo de pesquisa. Por fim, apresentamos um sumário da organização desta tese.

## 2. Semiótica Peirceana

### 2.1 Introdução

Neste capítulo, apresentamos um panorama geral da “**Semiótica**”, uma teoria filosófica desenvolvida no século XIX pelo filósofo norte-americano *Charles S. Peirce*, e que é fundamental para a compreensão posterior de alguns pontos desta tese. Esta teoria trata do estudo dos signos, ou seja, os fenômenos de significação e representação, e seu uso na cognição e comunicação [GUDWIN 1996]. O panorama geral da Semiótica apresentou na verdade três desenvolvimentos com origens distintas. Estes, apesar de ocorrerem quase que simultaneamente no tempo, nos EUA, na União Soviética e na Europa Ocidental [SANTAELLA 1983], acabaram por desconhecem-se mutuamente, sendo que desenvolvimentos distintos ocorreram sem que um soubesse dos outros, quando de sua concepção. Cada uma destas vertentes tem seus aspectos significativos, e seu público-alvo. Neste trabalho estaremos interessados exclusivamente na Semiótica desenvolvida por Peirce [PEIRCE 1990], nos EUA.

A origem da Semiótica de Peirce foi baseada na lógica, na filosofia e na ciência da linguagem. Segundo Santaella [SANTAELLA 1983], “*a Semiótica Peirceana, longe de ser uma ciência a mais, é na realidade, uma filosofia científica da linguagem, sustentada em bases inovadoras que revolucionam, nos alicerces, 25 séculos de filosofia ocidental*”. Essa afirmativa se justifica à medida que se compreende a semiótica como uma meta-ciência, que pode ser aplicada a diversas outras ciências, como uma abstração para métodos particulares utilizados em cada ciência.

Podemos depreender essa concepção meta-científica de Peirce a partir de sua proposta para uma arquitetura da Filosofia. Peirce estruturou sua arquitetura da Filosofia da seguinte maneira:

- |                         |   |             |
|-------------------------|---|-------------|
| 1. Fenomenologia        | } | • Estética  |
| 2. Ciências Normativas: |   | • Ética     |
| 3. Metafísica           |   | • Semiótica |

Para Peirce, o primeiro passo de um trabalho filosófico é a Fenomenologia. Esta, como base fundamental para toda ciência, observa os fenômenos e, através da análise, postula as formas ou propriedades universais desses fenômenos. Do estudo da Fenomenologia nasce a demanda por categorias universais que sejam capazes de classificar qualquer experiência ou pensamento. Diversos filósofos do passado propuseram conjuntos de categorias universais, dentre eles Aristóteles, que propôs um conjunto de 10 categorias e Kant, que propôs um conjunto de 12 categorias. Um dos grandes méritos do trabalho de Peirce, frente a outras teorias, é que ele foi capaz de reduzir o número de categorias universais a três. Essas categorias, chamadas por Peirce de categorias Ceno-Pitagóricas, ou simplesmente “Categorias da Experiência” foram batizadas por Peirce com os nomes de: Primeiridade, Secundidade e Terceiridade [SANTAELLA 1983, SANTAELLA 1998]. Estas categorias, ao contrário das categorias de Aristóteles e de Kant, são definidas como meta-categorias, ou seja, categorias para a geração de categorias. Ao invés de propor um conjunto numeroso de categorias para explicar diretamente os diversos fenômenos da experiência, Peirce criou um conjunto reduzido de meta-categorias, que aplicadas recursivamente e sucessivamente, dão origem a um vasto conjunto de diferentes categorias, utilizadas então para a explicação dos diferentes fenômenos que ocorrem no mundo. Desta forma, podemos considerar as categorias Peirceanas como um modelo mais sofisticado e mais completo do que o de seus precursores.

A Semiótica propriamente dita, encontra-se como uma sub-classificação das ciências normativas, junto com a estética e a ética. Uma terceira vertente da Filosofia, segundo Peirce, seria ainda a Metafísica. Peirce concebe a Semiótica como a teoria geral dos signos que pode ser aplicável a diferentes tipos de fenômenos. A Semiótica *Peirceana* é uma ciência que tem por objetivo um exame dos modos de constituição de todo e qualquer fenômeno, como fenômeno de produção de significação e sentido, por meio dos signos.

Peirce divide ainda a Semiótica em três partes: a chamada *Gramática Especulativa*, também chamada simplesmente de *Gramática*, a *Lógica Crítica*, também chamada muitas vezes simplesmente de *Lógica* e a *Retórica Especulativa*, também chamada de *Metodêutica* [LISZKA 1996]. A *Gramática* trata dos aspectos referentes à formação, combinação e composição entre signos, ou como diz Peirce, às “condições gerais para que signos sejam signos”. A *Lógica* diz respeito aos aspectos semânticos dos signos, ou seja, as condições necessárias para que os signos possam efetivamente se referenciar aos objetos que representam. A *Metodêutica*, também chamada de *Pragmática* por Morris, corresponde ao estudo das condições necessárias à transmissão de significado por signos de uma mente inteligente a outra, ou seja, qual o mecanismo que faz efetivamente um signo funcionar como signo. Infelizmente, apesar de discorrer profusamente sobre a *Gramática* e sobre a *Lógica*, Peirce nos fala muito pouco sobre a *Metodêutica*. Esse fato é lamentável, uma vez que uma descrição mais detalhada dessa área da semiótica, permitiria uma melhor compreensão dos aspectos funcionais inerentes aos processos semióticos, que seriam de grande ajuda na implementação de dispositivos artificiais exibindo um comportamento semiótico. Apesar dessa lacuna, Peirce nos brinda em seus estudos sobre a *Lógica Crítica*, com sua descrição do que seriam os três tipos de raciocínio lógico, também baseados nas categorias da experiência. Os três tipos de raciocínio são: Abdução (Primeiridade), Dedução (Secundidade) e Indução (Terceiridade) [PEIRCE 1990, SANTAELLA 1998]. A compreensão dos três tipos de raciocínio lógico como estágios sucessivos de um

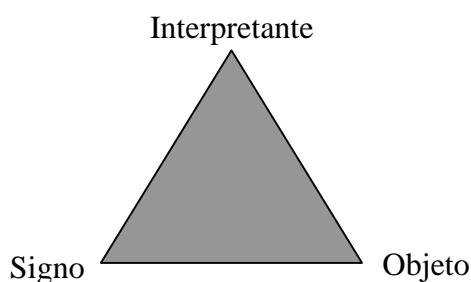
mecanismo para a descoberta científica [FANN 1970] nos fornece subsídios enriquecedores para a criação de mecanismos de síntese semiótica em sistemas computacionais.

## 2.2 Semiótica Peirceana : Aspectos Gerais

A Semiótica *Peirceana* é uma teoria que toma para si a função de classificar e descrever todos os diferentes tipos de signos possíveis. Peirce considera a relação triádica do signo como a forma básica ou o princípio lógico-estrutural dos processos dialéticos de continuidade e crescimento ocorrendo onipresentemente no mundo real. Esta relação foi definida por Peirce como “**Semiose**”. A triadicidade, encontrada na base da teoria de Peirce, parte da concepção de que a experiência do fenômeno pode ser sempre reduzida de forma a apresentar três tipos de propriedades, correspondentes às categorias antes mencionadas [SANTAELLA 1983].

Outra característica da Semiótica *Peirceana* é expressar uma visão da experiência como dependente do signo. O que se especifica nesta visão da Semiótica *Peirceana* é a impossibilidade de se construir o conhecimento sem a experiência. Da mesma forma, não podemos construir uma experiência sem a noção de signo, o que explica a grande importância que Peirce dá ao conceito de signo [DEELY 1990, SOUZA E SILVA 1998]. O conceito de signo, entretanto, aparece de muitas maneiras diferentes na literatura. Uma das visões mais abrangentes, dentre várias, é a do próprio Peirce.

Para Peirce um signo ou *representamen* é aquilo que, sob certo aspecto ou modo, representa algo para alguém [PEIRCE 1990]. Esse signo criará na mente desse alguém um segundo signo equivalente a si mesmo, isto é, um signo mais desenvolvido, que é chamado de interpretante. Tanto o signo como seu interpretante referem-se da mesma forma a um terceiro elemento, chamado de seu objeto, sendo que existe então uma relação triádica envolvendo o signo, o objeto e o interpretante. Essa relação triádica pode ser representada graficamente por meio do triângulo na Figura 2.1 a seguir:



**Figura 2-1 - Representação da relação triádica da semiótica peirceana.**

### 2.2.1 Objeto

O objeto sendo representado pelo signo pode ser um objeto perceptível, ou apenas imaginável. Pode até ser um objeto inimaginável num certo sentido. Chega-se portanto à conclusão de que um signo pode denotar qualquer objeto: sonhado, alucinado, existente, esperado, etc. Esse objeto é algo diferente do signo. Entretanto, deve guardar algum tipo de relação com o signo, de forma que autoriza este a representá-lo.

Peirce faz alusão a dois tipos de objetos: o objeto imediato e o objeto dinâmico. O objeto dinâmico é o objeto real, ou seja, o fenômeno ontológico do mundo real que se deseja que seja representado pelo signo. O objeto imediato, ao contrário, corresponde ao objeto da maneira como ele é representado pelo signo.

Podemos compreender melhor a natureza do objeto imediato como sendo a parte do objeto dinâmico que [SANTAELLA 1995]:

1. está dentro do próprio signo,
2. é uma sugestão ou alusão que indica o objeto dinâmico,
3. é o objeto tal como está representado no próprio signo, ou tal como o signo o representa ;
4. é o objeto tal como o signo permite que o conheçamos.

### **2.2.2 Interpretante**

Na estrutura triádica do signo, o interpretante pode ser visto como o efeito causado pela interpretação do signo. Neste processo, ele reproduz a relação do signo com seu objeto, tendo com este uma relação de mesma natureza. Da mesma maneira, dizemos que o interpretante “media” (ou intermedia) a relação do signo com seu objeto, pois um signo só pode se referenciar a um objeto, na medida em que esta referência é reproduzida no interpretante. Dentro da relação de representação, o interpretante é o terceiro termo e o responsável pela dinâmica da significação.

Peirce aponta três tipos diferentes de interpretantes, diretamente relacionados com as três categorias da experiência: interpretante imediato, dinâmico e final.

O Interpretante imediato é um interpretante interno ao signo – propriedade interna do signo – uma possibilidade de interpretação em abstrato, ainda não realizada. Pode ser considerado como uma possibilidade de sentido ainda não atualizada, mas que está contida no signo, já que ele deve ter sua interpretabilidade própria, antes de chegar ao intérprete. Desta forma é que podemos olhar o poder do signo para produzir um determinado efeito na mente interpretadora.

O Interpretante dinâmico é considerado como o efeito produzido pelo signo num ato de interpretação concreto e singular, considerando um efeito real produzido sobre um dado intérprete.

O Interpretante final é aquele para o qual tendem os interpretantes dinâmicos, sendo considerado como uma espécie de interpretante em abstrato. Pode ser visto como um "molde" (uma lei), regulando a formação de cada interpretante dinâmico. Assim, tendo em vista uma cadeia finita de interpretações, podemos entender o interpretante final como uma fronteira ideal, para onde os interpretantes dinâmicos tendem a caminhar.

Segundo Peirce, esta tríade de interpretantes pode ser mapeada diretamente às três categorias da experiência, onde o interpretante imediato corresponde à primeiridade – uma possibilidade inscrita no signo para significar – o interpretante dinâmico (considerado como um interpretante produzido) é secundidade; e o interpretante final é terceiridade, considerado como uma regra ou padrão para o entendimento do signo. De uma maneira geral, o processo de interpretação de um signo genuíno demanda a consideração desses três tipos de interpretantes, observando-se sua relação com as três categorias. Os interpretantes imediato e final são interpretantes abstratos e o dinâmico é um interpretante concreto. Um interpretante dinâmico pode ser considerado como a apropriação efetiva do objeto

dinâmico, em sua parte conhecível, pelo intérprete, incorporando não somente a informação do objeto trazida pelo signo, mas também todo um conjunto de experiências colaterais associadas a este objeto, fruto de interpretações anteriores, que são integradas então na forma do interpretante dinâmico. O interpretante final corresponde a uma lei que o real instancia, sendo um limite ideal e abstrato, não dependendo este de um interpretante dinâmico efetivo. Supondo que infinitos signos fossem utilizados para conduzir todas as informações sobre um objeto dinâmico, a lei ou classe que engloba todas essas infinitas interpretações seria o interpretante final. É portanto somente um limite conceitual, não admitindo uma existência concreta. Por outro lado um interpretante imediato é uma mera possibilidade de sentido, a qual neste momento não é revelada, mas encontra-se de forma vaga contida no próprio signo. Sendo assim, o interpretante imediato assume a forma de retoque, um complemento para um interpretante dinâmico que se deseja instanciar, e não uma forma concreta, efetiva.

Além dessa classificação dos interpretantes, Peirce distingue outras, que não serão, entretanto, abordadas aqui.

## 2.3 As Categorias da Experiência

Conforme apresentado anteriormente, as categorias da experiência encontram uma importância especial na teoria de Peirce. Toda a arquitetura da semiótica de Peirce é montada sobre o conceito das categorias e sua recursiva aplicação aos diferentes aspectos da teoria. Poderíamos assim dizer, que as categorias constituem o fundamento básico por trás da semiótica Peirceana, sendo essenciais para que possamos compreender a semiótica.

Podemos considerar as categorias como conceitos gerais no domínio do conhecimento. Esses conceitos são como leis gerais que aparecem de maneira onipresente em todos os pontos do universo. Essa característica é que confere à semiótica a universalidade que Peirce lhe atribui. Nesta seção, investigamos de maneira mais aprofundada a definição do que sejam cada uma das três categorias.

### 2.3.1 *Primeiridade*

Primeiridade foi o nome dado por Peirce à primeira das três categorias da experiência. Em sua essência, primeiridade é aquilo que é assim como é, independente de nada mais, ou seja, independente de um segundo ou um terceiro (C.P. 1.356)<sup>1</sup>. Essa idéia, entretanto, é abstrata demais, sendo que Peirce dá diversos exemplos do que entenderia como sendo primeiridade. Por exemplo, Peirce associa o conceito de primeiridade com os conceitos de novidade, criatividade, liberdade, originalidade e potencialidade.

---

<sup>1</sup> N. do A.: Devido ao caráter gigantesco de sua obra, as referências mais precisas a Peirce são tradicionalmente efetuadas utilizando-se um conjunto de letras, designando a obra, o volume e o parágrafo. Em nossa citação, CP 1.356 corresponde aos "Collected Papers of Charles S. Peirce" [PEIRCE 1980], volume 1, parágrafo 356. Outros conjuntos de letras que podem aparecer como citações a Peirce são W, correspondendo aos "Writings of Charles S. Peirce" [PEIRCE 1993], LW, correspondendo à correspondência mantida entre Peirce e Lady Welby, NEM, correspondendo aos "New Elements of Mathematics", MS, correspondendo aos manuscritos numerados e L, correspondendo a correspondências catalogadas.

Podemos dizer que primeiridade é o presente, o imediato, de maneira a não ser segundo para uma representação. É algo novo, pois já o velho passa a ser um segundo em uma relação com outro estado anterior. Ele não pode ser articuladamente pensado, já que quando é pensado perdeu toda sua inocência característica [SANTAELLA 1983]. Ou seja, quando algo deixa de ser uma potencialidade e se transforma em uma realidade, deixa de ser um primeiro e passa a ser um segundo, pois algo que existe, sempre existe em relação ao que poderia ser, que seria o seu primeiro.

Peirce cita como exemplos de primeiridade as sensações e/ou os sentimentos. Para Peirce, a qualidade de sentimento de uma cor vermelha é um exemplo de primeiridade, a qual não têm nenhuma relação com os objetos que são percebidos como vermelhos. Não dependendo de nada mais, uma sensação é o que é, independente de qualquer julgamento que se possa fazer posteriormente a seu respeito. Enfim, qualidade de sentir é o modo mais imediato, mas já imperceptivelmente medializado de nosso estar no mundo. Sentimento é um quase-signo do mundo, isto é, nossa primeira forma imprecisa e indeterminada de predição das coisas [SANTAELLA 1983]. Assim, outro exemplo simples de primeiridade pode ser o azul do céu, sem o céu: a mera e simples qualidade do azul. É aquilo tal qual é, independente de qualquer outra coisa [SANTAELLA 1992].

### **2.3.2 Secundidade**

Secundidade é o nome dado por Peirce à segunda das suas três categorias da experiência. Essencialmente, a secundidade abrange tudo aquilo que é o que é, somente em relação a um primeiro, mas de maneira independente de um terceiro. De novo, essa definição é por demais abstrata, sendo que Peirce nos exemplifica diversas instâncias do que entende por secundidade. A idéia de secundidade, portanto, está presente nas idéias de causação e reação (forças estáticas ocorrem sempre aos pares), comparação, oposição, polaridade, diferenciação e existência (oposição ao resto do mundo). Destas, talvez a mais peculiar é a idéia de existência. Existência é tida como uma secundidade (e não uma primeiridade, como poderíamos talvez aventar), pois existir significa nos diferenciarmos do resto do mundo. Assim, para que possamos conceber a existência, é necessário primeiro que concebamos o mundo, de tal forma que possamos no colocar depois nesse mundo, existindo portanto. Qualquer coisa é, assim, um segundo, na medida em que existe, pois existir significa estar em relação um com o outro. Enfim, para que algo exista, esse algo deve ser um objeto para um sujeito, o que significa que algo é um segundo enquanto participante de uma relação diádica. Tornamo-nos conscientes de uma qualidade apenas ao contrastá-la ou compará-la com uma outra [PINTO 1995].

Podemos então dizer que onde existe um fenômeno há uma qualidade (primeiridade). Esta qualidade é apenas uma parte do fenômeno, uma vez que, para existir, a qualidade tem que estar encarnada numa matéria. A factualidade do existir (secundidade) está nessa corporificação material.

### **2.3.3 Terceiridade**

Terceiridade é o nome dado por Peirce à terceira das três categorias da experiência. Podemos entender em essência a terceiridade como sendo tudo aquilo que é o que é, somente em função de um segundo e de um primeiro, mas independente de um quarto. Da mesma maneira que nos casos anteriores, essa definição é por demais abstrata, sendo que Peirce nos apresenta diversas instâncias



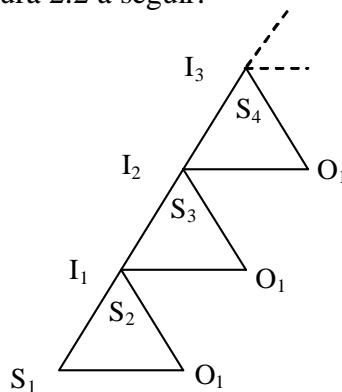
deste conceito, para que possamos compreendê-lo melhor. Sendo assim, Peirce identifica a idéia de terceiridade nas idéias de mediação, meio, intermediário, interferência, continuidade, representação, generalidade, infinitude, difusão, crescimento, lei, hábito e inteligência (intencionalidade). O conceito de mediação é determinante na idéia de terceiridade.

A idéia principal da terceiridade, é a idéia de que algo aproxima um primeiro de um segundo numa síntese intelectual. Ou seja, a conexão entre um primeiro e um segundo, só existe por intermédio de um terceiro. A concepção de inteligência, em Peirce, é a idéia de que existe um propósito que media uma determinada ação. Assim, Peirce distingue uma ação puramente mecânica (uma secundidade) de uma ação inteligente (terceiridade), pelo fato de que na ação inteligente, esta não ocorrer somente como uma ação física, mas sim como uma ação que é mediada pelo propósito a qual serve. Esse mesmo conceito de mediação surge para os exemplos de generalidade e de lei. Algo que exista, só existe devido a uma lei ou classe que lhe dá forma. Sendo assim, essa lei ou classe exerce um poder de mediação na existência. Por fim, talvez o exemplo sumo da idéia de terceiridade é a idéia de signo. Ou seja, a conexão entre um signo e seu objeto só existe devido à mediação do interpretante, que garante que a conexão entre signo e objeto se verifique de fato. Assim, a idéia de terceiridade corresponde à camada de inteligibilidade, ou pensamento em signos, através da qual representamos e interpretamos o mundo [SANTAELLA 1983].

Um exemplo desta categoria poderia ser aquele, no qual o azul, simples e positivo azul, é um primeiro. O céu, como lugar e tempo, aqui e agora, onde se encarna o azul, é um segundo. A síntese intelectual, elaboração cognitiva “o azul no céu”, “ou o azul do céu” é um terceiro [SANTAELLA 1983].

## 2.4 Fenômeno da Semiose

Por Semiose entende-se a produção de sentido, ou seja, um processo infinito, através do qual, alguma coisa (signo) representa outra (objeto), sob algum aspecto ou modo (interpretante), para um sujeito (intérprete). Podemos entender esse processo na medida em que um signo apresentado ao intérprete é transformado em um interpretante. Entretanto, após tornar-se um interpretante, esse mesmo interpretante deve ter o poder de atuar então também como um signo, produzindo uma cadeia potencialmente infinita de interpretações posteriores. Esse processo pode ser observado na figura 2.2 a seguir:



**Figura 2-2. Diagrama representativo do processo de semiose.**

No caso apresentado no diagrama anterior, o signo tem uma relação triádica genuína (o objeto se manifesta no interpretante através do signo) e pode ser considerado como uma operação da terceiridade. A Semiose, é um processo de geração infinita de significações, pelo qual aquilo que era um terceiro numa dada relação triádica passa a ser primeiro numa outra relação triádica, como foi representado na Figura 2.2.

Podemos interpretar a Figura 2.2 da seguinte maneira: para que  $I_1$  seja o interpretante de um signo  $S_1$ , com relação a um objeto  $O_1$ , esse mesmo  $I_1$  deve ser um signo  $S_2$ , ou seja, deve ter a capacidade de gerar um outro interpretante  $I_2$  em relação ao mesmo objeto  $O_1$ . Em outras palavras,  $I_2$  deve ser também um signo  $S_3$ , e portanto ser capaz de gerar um novo interpretante  $I_3$ , que continua guardando a mesma relação com  $O_1$ , que por sua vez deve ser um signo  $S_4$  e assim até o infinito. Assim, verificamos que o fenômeno de semiose é um fenômeno recursivo, pois para algo ser um signo, ele deve ser capaz de gerar outro algo que também é um signo, ou seja, deve guardar com seu objeto o mesmo tipo de relação que o signo original possui. Somente nesse caso podemos dizer que estamos diante de um fenômeno de semiose.

Vejam como o conceito de Semiose é apresentado por [SANTAELLA 1995]:

*“ A ação do signo, que é a ação de ser interpretada, apresenta com perfeição o movimento autogerativo, pois ser interpretado é gerar um outro signo que gerará outro, e assim infinitamente, num movimento similar ao das coisas vivas”.*

Essa idéia de "autogeração" é bem apropriada para o conceito de semiose, pois para algo ser um signo, ele deve ser capaz de gerar um igual a si próprio - algo que mantenha sua relação com seu objeto exatamente igual à relação que o algo original mantinha por si mesmo.

## 2.5 Tricotomias<sup>1</sup> dos Signos

Peirce em seu esforço por classificar e compreender os diferentes tipos de signos, propôs a existência de dez tricotomias<sup>1</sup> e sessenta e seis classes de signos [PEIRCE 1990]. Nesta seção, descrevemos apenas as três tricotomias mais básicas, utilizadas por Peirce para definir originariamente 10 diferentes classes de signos. A primeira dessas três tricotomias diz respeito à análise do signo em relação a si mesmo. A segunda diz respeito à análise do signo e sua relação com seu objeto. Por fim, a terceira tricotomia efetua a análise do signo em relação a seu interpretante.

### 2.5.1 Primeira Tricotomia

A primeira tricotomia diz respeito ao modo de apresentação, apreensão e natureza do próprio signo [SANTAELLA 1995]. Baseado na possível relação que um signo pode ter consigo mesmo, Peirce apresenta uma classificação de três espécies de signos:

**Quali-signo:** Entende-se por um signo considerado especificamente no que diz respeito à sua qualidade intrínseca: sua aparência, sua propriedade primária. Por

---

<sup>1</sup> N. do A.: *Tricotomia* - tradução para o português, adotada por diferentes tradutores, do termo *trichotomy*, utilizado por Peirce para definir um conjunto formado por três elementos (tríades), fazendo um neologismo com o termo dicotomia. Outras interpretações deste termo em português devem ser desconsideradas.

exemplo, uma cor, som, cheiro, etc. Um quali-signo funciona como signo por intermédio de uma primeiridade da qualidade – qualidade como tal – possibilidade abstraída de qualquer relação empírica espaço-temporal da qualidade com qualquer outra coisa [SANTAELLA 1995].

**Sin-signo:** O prefixo *sin* de sin-signo, significa que se trata de uma coisa ou evento singular, no sentido de “uma única coisa”. Segundo Peirce, um sin-signo só pode existir através de suas qualidades, concluindo que ele envolve um ou vários quali-signos. Peirce refere-se a um sin-signo como um objeto da experiência direta. Assim, qualquer coisa que compele nossa atenção é um segundo em relação à atenção compelida. Podemos dizer que é a instanciação de um conjunto de qualidades na idéia de uma coisa ou entidade o que caracteriza um sin-signo como tal.

Um exemplo de um sin-signo, é um sinal do tráfego vermelho, numa esquina, que nos faz parar um carro. Este é prioritariamente um sin-signo, embora a qualidade da luz como vermelha seja um quali-signo [SANTAELLA 1995]. Neste caso, não é o quali-signo (não obstante imprescindível), o que funciona como um signo, senão o encontro com o objeto “sinal vermelho” e nossa conseqüente parada abrupta. Devemos considerar que estão envolvidas ainda, neste caso, leis convencionais ligadas ao trânsito, que são socialmente estabelecidas e nos permitem compreender que o sinal vermelho significa **parar**. Apesar disso, naquele instante em que paramos, porque apareceu o sinal vermelho (que depende das circunstâncias de ocorrências), é por causa do sinal vermelho e não por causa do vermelho que paramos, sendo que é este que funciona como signo neste caso.

**Legi-signo:** Ao contrário do sin-signo que corresponde a uma coisa determinada ou evento singular, um legi-signo corresponde a uma classe, convenção ou lei estabelecida pelos homens. Essa lei ou classe, é portanto instanciada em sin-signos, toda vez que se deseja utilizá-la. Podemos portanto entender um legi-signo como uma abstração ou generalização de um sin-signo, ou da mesma forma como a lei que permite que um sin-signo seja formado. Exemplos de legi-signos são as palavras de uma língua. Cada palavra que aparece escrita em um texto corresponde a um sin-signo que na verdade é uma instância de um legi-signo maior que a define e a regula. Por exemplo, cada instância da palavra “signo” neste trabalho é em si um sin-signo, ao passo que a palavra “signo”, que se repete em cada uma dessas instâncias é na verdade um legi-signo. Um signo, pode funcionar como um legi-signo na medida em que a lei é tomada como propriedade que rege seu funcionamento signico. Os legi-signos não são regras que se aplicam por acaso, mas uma propriedade geral que o próprio signo possui. Segundo Santaella [SANTAELLA 1995], o exemplo mais clássico de legi-signos é o utilizado na linguagem verbal.

### 2.5.2 Segunda Tricotomia

A segunda tricotomia diz respeito à análise da relação entre o signo e seu objeto. Aplicando as categorias, podemos então ter três espécies de signos:

**Ícone:** é um signo que em relação ao seu objeto pode ser confundido com ele de alguma forma. Assim, dizemos que um ícone apresenta alguma semelhança com o objeto representado. Exemplos de ícones incluem: a escultura de uma mulher, a fotografia de um carro, um esquema, um diagrama, entre outros.

**Índice:** é um signo que se relaciona com seu objeto no sentido em que esta relação existe naturalmente no mundo real. A natureza desta relação normalmente

se dá na forma de uma conexão no espaço ou no tempo. Dizemos portanto, que o índice representa seu objeto em virtude de ser diretamente afetado por ele. Por exemplo: a fumaça é um índice de fogo, pois existe uma conexão espacial e temporal entre a fumaça e o fogo. Um campo molhado é um índice de que choveu, pois existe uma conexão natural entre a chuva e o campo molhado. Uma seta colocada num cruzamento é um índice do caminho a seguir, pois esta aponta para a direção correta. Normalmente, índices têm sempre um significado relativo em relação a sua posição no espaço e no tempo, embora outras relações tais como relações causais possam ser utilizadas para fazer a conexão do signo com seu objeto.

**Símbolo:** é um signo referente a um objeto denotado em virtude de uma associação de idéias produzidas por uma convenção. A característica do símbolo é, portanto, a arbitrariedade. Um símbolo não se encontra diretamente afetado pelo objeto, como no caso do índice, mas se conecta a este somente por força de uma convenção ou lei que o faz arbitrariamente. Sendo assim, os símbolos são os tipos de signos mais poderosos, pois não dependem de uma conexão natural entre signo e objeto, sendo que esta conexão é artificialmente criada, somente para os propósitos de representação. Exemplos de símbolos incluem: qualquer palavra da nossa língua, a cor verde, representando o símbolo de esperança e a cor vermelha representando uma tragédia, por exemplo. Observe-se que esta conexão pode ser totalmente arbitrária. Historicamente, entretanto, os símbolos têm uma origem em índices. A diferença que existe neste caso, é que mesmo depois que a conexão natural entre signo e objeto deixa de existir, o signo continua representando seu objeto.

### 2.5.3 Terceira Tricotomia

A terceira tricotomia envolve a análise do signo com relação a seu interpretante. Esta tricotomia trabalha com a significação do signo propriamente dito e, de novo, aplicando as três categorias, temos três espécies de signos:

**Rema:** Peirce concebe este signo como aquele que não é nem verdadeiro, nem falso: algo que seria uma proposição, se não lhe faltasse os elementos que deveriam estar presentes para que sua significação pudesse ser avaliada em termos de falso ou verdadeiro. Trata-se portanto de um termo de uma proposição, ou seja, uma de suas partes. Um rema pode ser visto como uma primeiridade, pois pode potencialmente ser verdadeiro ou falso. Assim, um rema é um signo cujo interpretante está limitado naquilo a que pode se referir como objeto. É um signo aberto e indeterminado, no sentido de que seu interpretante contém, pelo menos, uma variável livre, assim como “**x ama y**”. Neste exemplo, existe uma relação entre um sujeito e um objeto, tal que o sujeito ama o objeto, mas não se sabe exatamente a que ou a quem tal proposição se refere.

**Dicissigno:** É aquele signo que vê o signo em sua capacidade de produzir um interpretante e em sua relação com esses interpretantes. Este signo pode ser definido como aquele capaz de ser afirmado. Ao contrário da rema, com sua função proposicional do tipo **x ama y**, no signo dicissigno desaparecem as incógnitas, por exemplo, **Maria ama João**, tornando-se este mais referencial.

**Argumento:** este signo é uma proposição complexa apresentada como verdadeira, com base em uma outra proposição (ou conjunto de proposições apresentadas em uma única proposição composta). Neste caso, tomando como base

o exemplo anterior, um argumento daquela expressão seria uma proposição: **Maria ama João porque faz tudo para ele.**

A tabela 2.1 mostra os diferentes tipos de signos explicados anteriormente e seu relacionamento com as três categorias da experiência:

Categorias	O signo em relação a si mesmo	O signo em relação ao objeto	O signo em relação ao interpretante
Primeiridade	Quali-signo	Ícone	Rema
Secundidade	Sin-signo	Índice	Dicissigno
Terceiridade	Legi-signo	Simbólico	Argumento

**Tabela 2.1. Representação das três tricotomias e sua correspondência com as três categorias da experiência.**

## 2.6 Classes de Signos

Embora tenhamos 3 diferentes tipos de signos para cada tricotomia, nem todas podem ocorrer simultaneamente. Nesta seção, apresentaremos as dez classes de signos que podem ser obtidas a partir das tricotomias apresentadas na seção anterior por restrições impostas pelas categorias da experiência (Primeiridade, Secundidade e Terceiridade). Desta forma, estamos na presença de uma segunda divisão dos signos em dez classes diferentes [PEIRCE 1995].

N.	Tipos de Signos	Caracteres	Exemplos
1)	Qualisigno icônico remático	Qualidade-Semelhança-Possível (síntese-indivisível-analogia)	Signo de essência - Qualidades: olhar/ cheiro/ mancha/ luz/ vermelhidade/ sentimento/ qualidades/ informação estética
2)	Sinsigno icônico remático	Individual-Semelhança-Possível (singular-similaridade-análogo)	Determina a idéia de objeto, mas não transmite informação desse objeto. Uma pintura abstrata / imagens - Figuras singulares.
3)	Sinsigno indicial remático	Individual-Existente-Possível (singular-indicador-análogo)	Chama a atenção para o objeto do qual decorre sua presença. Um som / grito/ pintura gestual/ foto desfocada-Informação semântica.
4)	Sinsigno indicial dicente	Individual-Existente-Real (singular-indicador-conexão)	Signo produzido por um objeto. Transmite informações desse objeto - fotografia/ mapas/ chuva/ marcas de fogo.

N.	Tipos de Signos	Caracteres	Exemplos
5)	Legisigno icônico remático	Regra-Semelhança-Possível	Código de cores/ códigos sonoros/ poesia concreta/ palavras/ ritmos/ texto descritivo qualitativo.
6)	Legisigno indicial remático	Regra-Existente-Possível	Código de transmissão/ caracteres/código autográfico/ estilos/ rimas/ um pronome demonstrativo/ texto descritivo indicial.
7)	Legisigno indicial dicente	Regra-Existente-Real (lei-indicador-real)	Códigos de trânsito/ código realista: perspectiva/ código de cores.
8)	Legisigno simbólico remático	Regra-Convenção-Possível (lei-convencional-qualidade)	Música: teoria dos afetos/ pictórica/ estilos/ Pictograma/ um termo.
9)	Legisigno simbólico dicente	Regra-Convenção-Real (lei-códigos-real)	Ordens/ propaganda/ uma proposição.
10)	Legisigno simbólico argumentativo	Regra-Convenção-Geral (lei-códigos-geral)	Linguagens/ um texto/ sistemas e normas de representação.

**Tabela 2.2. Dez classes de signos. Exemplos.**

## 2.7 Resumo

Neste capítulo apresentamos o corpo de teoria fundamental que estrutura a Teoria Semiótica Peirceana. Iniciamos com um pequeno resumo da arquitetura de sua filosofia, destacando na fenomenologia, a criação das três categorias universais da experiência.

A seguir, apresentamos uma visão geral da Semiótica *Peirceana*, destacando dentro dela o conceito de “Signo” como sendo uma relação triádica entre três componentes, o signo (também chamado de *fundamento* do signo), o objeto e o interpretante. Este conceito é fundamental para a compreensão do fenômeno de representação.

Outro aspecto importante destacado foi a descrição do fenômeno de “Semiose”, que tem seu princípio de funcionamento na relação triádica (signo-objeto-interpretante). A Semiose é um processo de geração infinita de significações a partir de uma relação triádica inicial.

Por fim, apresentou-se as três tricotomias mais importantes de signos, a partir das quais foram definidas as dez classes de signos.

# 3. Agentes Autônomos

## 3.1 Introdução

As iniciativas pioneiras em tratar unificadamente controle e informação nos organismos vivos e nas máquinas foram introduzidas formalmente no final dos anos 40 [WIENER 1948]. No entanto, foi com o desenvolvimento da indústria de informática, observado principalmente a partir dos anos 80, que se pode dispor de grande poder de processamento a baixo custo, condição necessária para a efetivação da pesquisa envolvendo sistemas autônomos artificiais - também conhecidos como agentes autônomos.

O estudo de agentes autônomos é motivado principalmente pela característica de tal tipo de sistema interagir ativamente com o ambiente e, ao contrário de outros tipos de sistemas (não-autônomos), sofrer as consequências desta interação. É possível entender os resultados expressivos obtidos ultimamente no estudo de agentes autônomos [AGRE & ROSENSCHEIN 1995; DORIGO 1996] analisando-se os desenvolvimentos paralelos que ocorreram no estudo de sistemas inteligentes, eminentemente na área conhecida como Inteligência Computacional [ZURADA *ET AL.*, 1994; PALANISWAMI *ET AL.*, 1995].

Atualmente, os agentes autônomos vem despertando crescente interesse junto à comunidade científico [AGRE, *ET AL.*, 1996; DORIGO, 1996]. Esse interesse está fortemente relacionado às técnicas utilizadas para investigar essa classe de sistemas, onde se faz uma integração do agente ao ambiente. Essa integração decorre do fato do agente autônomo atuar sobre si próprio, o que caracteriza sua autonomia. Um agente não-autônomo, em contraposição, deverá ser estático ou sofrer uma atuação de algum agente externo.

Uma das razões que tornam essa abordagem interessante, é que em um determinado ambiente, podem co-existir diversos agentes, iguais ou diferentes. Com isso, além de se estudar as características particulares que regem o funcionamento de cada agente, pode-se analisar o comportamento destes integrados ao ambiente. Assim, o ambiente pode ser entendido como uma sociedade de agentes que podem exibir comportamentos sofisticados tais como competição e/ou cooperação. Por exemplo, [BEER 1995] adotou uma perspectiva de sistemas dinâmicos para mostrar que a interação do ambiente com um ou mais agentes pode ser descrita na forma de um sistema de equações diferenciais acopladas.

Algumas propriedades encontradas em certas classes de sistemas autônomos permitem caracterizá-los como sistemas inteligentes. Por exemplo:

- capacidade de adquirir conhecimento pela interação com o ambiente;
- capacidade de adaptar seu comportamento com base em suas informações sensoriais, utilizando técnicas de adaptação e/ou aprendizado;
- capacidade de encontrar soluções factíveis (e, muitas vezes, ótimas), que atendam simultaneamente a múltiplos objetivos (possivelmente conflitantes);
- capacidade para operação em condições adversas tais como: ausência de um conjunto de informações completo para um planejamento prévio de seu comportamento, imprevisibilidade na interação com o ambiente (possivelmente de topologia desconhecida), ruído nos sensores e atuadores;
- utilização de sensores e atuadores com comportamento seletivo, dependente do contexto.

Este conjunto de propriedades, que caracterizam um agente autônomo como inteligente, cria restrições importantes em seu processo de programação e controle, as quais vem sendo objeto de pesquisa na literatura [COLOMBETTI *ET AL.*, 1996]. Dado um sistema autônomo pertencente a um ambiente complexo, imprevisível e possivelmente dotado de múltiplos sistemas autônomos, o que se busca é superar a impossibilidade prática de se programar e controlar este sistema autônomo utilizando técnicas de inteligência artificial convencional [BROOKS, 1990].

Existe um consenso entre os pesquisadores da área de que técnicas de desenvolvimento de agentes autônomos inteligentes devem ser validadas em sistemas reais, pois o "mundo simulado" não pode ser tão complexo e imprevisível quanto o "mundo real" [DORIGO, 1996]. No entanto, as simulações retêm um papel indispensável, já que as questões mais importantes são resolvidas na fase de simulação, deixando pequenos detalhes para serem solucionados na fase de implementação e teste de protótipos.

Outra questão fundamental é decidir que tipo de propriedades do sistema autônomo devem ser projetadas previamente (propriedades inatas) e quais delas devem ser aprendidas por interação com o ambiente e/ou outros sistemas autônomos (propriedades não-inatas). Uma vez definido o conjunto de propriedades não-inatas, é necessário definir como implementá-las por processo de aprendizagem ou aquisição de conhecimento.

Para tanto, as técnicas mais avançadas de identificação de sistemas, controle adaptativo de processos, reconhecimento de padrões e computação evolutiva devem ser utilizadas, sendo que a teoria de redes neurais fornece diversos modelos, ferramentas e metodologias para a implementação destas técnicas [VON ZUBEN 1996; OLIVEIRA *ET.AL.* 1994, FIGUEIREDO & GOMIDE 1996]. O sucesso das estratégias neurais na abordagem de sistemas autônomos inteligentes está associado à possibilidade de pronta incorporação de outras estratégias especialmente desenvolvidas para processamento de informação, tais como técnicas de aproximação de funções e inferência estatística [VON ZUBEN 1996].

No contexto de agentes autônomos inteligentes, enquanto os estudos em inteligência artificial convencional têm se concentrado no desenvolvimento de sistemas de representação do conhecimento mais eficientes, a teoria de redes neurais tem se concentrado no desenvolvimento de mecanismos de adaptação e aprendizado. Claramente, a tendência atual na área de agentes autônomos inteligentes é chegar a mecanismos de adaptação e aprendizado eficientes aplicados



a sistemas de representação de conhecimento cada vez mais sofisticados, abrindo um espaço bem apropriado para a utilização da semiótica computacional.

Diversas metáforas interessantes podem ser aplicadas ao estudo de agentes autônomos. Supondo que o agente autônomo possa ser considerado um “agente” sob seu ambiente, então podemos considerar também que o sistema de controle que direciona a atuação desse agente pode ser considerado a “mente” de tal agente. Os objetivos e propósitos que de certa forma direcionam o agente em seu comportamento, podem ser considerados “emoções” dos agentes. Diversas metáforas como estas, permitem que se utilize o vasto material colhido em áreas interdisciplinares, tais como as ciências da cognição, a psicologia e a filosofia da mente, de modo a ter seu conteúdo transportado para o contexto do estudo de agentes autônomos. Veremos que, desta forma, nosso trabalho como “designers” de sistemas de controle de agentes se transforma, sob certos aspectos, na tarefa de construção de “mentes artificiais” para agentes. A vantagem em enxergar essa tarefa desta maneira, é que podemos utilizar conceitos humanos para especificar requisitos que gostaríamos de implementar no comportamento de nossos agentes, fazendo com que esse comportamento realmente se aproxime mais apropriadamente do que gostaríamos que fosse considerado um comportamento inteligente. Veremos a seguir, como esse conceito - agentes e outros conceitos derivados vêm sendo abordados na literatura e como a semiótica pode ser utilizada no desenvolvimento desta teoria.

## 3.2 Agentes

Agentes são metáforas conceituais para um tipo de componente sistêmico que em seu funcionamento pretende imitar diversas características do comportamento humano, principalmente no que se refere a um comportamento contínuo, pró-ativo e motivado (inteligente). Apesar dessa idéia geral, diversas definições de agentes podem ser encontradas na literatura. Wooldridge e Jennings [WOOLDRIDGE 1995] apresentam duas propostas de definição de agentes, no que chamam de noção forte e noção fraca, dependendo do grau de “realismo” com que se pretende entender a metáfora de agente.

### 3.2.1 Uma Noção Fraca para Agentes

Segundo Wooldridge e Jennings [WOOLDRIDGE 1995], uma noção fraca do termo agente é aquela que o utiliza para denotar qualquer *hardware* ou sistema de computação baseado em *software*, que apresente as seguintes propriedades:

- **autonomia:** os agentes operam sem a intervenção direta dos humanos ou outros agentes, além de ter algum tipo de controle de suas ações e estados internos;
- **habilidade social:** os agentes interagem com outros agentes (e possivelmente com humanos) através de algum tipo de linguagem de comunicação de agentes (ACL);
- **reatividade:** os agentes percebem seu ambiente, o qual pode ser o mundo real, um usuário via uma interface gráfica de usuário (GUI), uma coleção de outros agentes, a INTERNET, ou talvez a combinação de alguns destes ou de todos respondendo de forma oportuna às mudanças que ocorrem neste ambiente;

- **pró-atividade** (*pro-activeness*): os agentes não simplesmente reagem em resposta ao ambiente, mas têm a capacidade de exibir condutas baseadas em metas, tomando a iniciativa em relação a suas próprias ações.

### 3.2.2 Uma Noção Forte para Agentes

Para alguns pesquisadores, particularmente aqueles que trabalham na área da Inteligência Artificial, o termo agente deve ter um significado mais específico que o adotado pela noção fraca. Em sentido geral, estes pesquisadores descrevem um agente como um sistema de computação que, além de apresentar as propriedades identificadas na noção fraca, deve ser definido ou implementado utilizando-se conceitos que usualmente são aplicáveis aos seres humanos. Por exemplo, é bastante comum na Inteligência Artificial caracterizar os agentes usando noções aplicáveis à mente humana, tais como conhecimentos, crenças, intenções e obrigações.

### 3.2.3 Outros Atributos para Agentes

Em algumas ocasiões, outros atributos são discutidos no contexto de agentes. Como exemplo, temos:

- **mobilidade**: é a habilidade de um agente para se transportar entre máquinas participantes de uma rede de computadores;
- **veracidade**: é a suposição que um agente não comunicará informações falsas de maneira intencional;
- **benevolência**: é a suposição de que os agentes não têm objetivos contraditórios, e que todo agente tentará sempre responder ao que lhe é perguntado;
- **racionalidade**: é a suposição de que o agente sempre agirá para alcançar suas metas, e nunca agirá contra seus objetivos, pelo menos na medida em que suas crenças o permitam.

### 3.2.4 Outras Definições de Agente

Outros pesquisadores da área, tem desenvolvido definições interessantes para o termo "agente", muitas delas até conflitantes. Dentre outras podemos citar as seguintes:

- “Um agente é qualquer coisa que possa perceber um ambiente por meio de sensores e atuar no mesmo por meio de atuadores” (Russel e Norvig) [RUSSELL 1995]
- “Agentes inteligentes realizam continuamente três funções: percepção das condições dinâmicas de um ambiente, ação de modo a afetar condições do ambiente e raciocínio para interpretar percepções, realizar inferências e determinar ações” (Barbara Hayes-Roth - Stanford) [FRANKLIN 1996]
- “Agentes autônomos são sistemas computacionais que habitam um ambiente complexo e dinâmico, senseiam e atuam autonomamente neste ambiente, realizando desta maneira uma série de metas e tarefas para as quais foram projetados” (Pattie Maes - MIT Media Lab) [FRANKLIN 1996]
- “Agentes inteligentes são entidades de software que realizam um conjunto de operações em nome de um usuário ou outro programa com certo grau de

independência ou autonomia, e desta maneira empregam algum conhecimento ou representação das metas e/ou desejos do usuário” (IBM’s Intelligent Agent Strategy) [FRANKLIN 1996]

- “Um agente autônomo é um sistema que é parte de um ambiente, estando situado dentro dele, e sente e age sobre este ambiente, no tempo, de acordo com seus próprios propósitos, de modo a alterar o que sentirá no futuro” (Stan Franklin e Art Graesser) [FRANKLIN 1996]

### 3.3 Arquitetura de Agentes

Um tópico importante relacionado à tecnologia de agentes diz respeito às diferentes arquiteturas que podem ser idealizadas para a implementação de agentes. Entende-se por uma arquitetura de agentes como o conjunto de especificações e técnicas utilizadas para a definição funcional dos agentes. Nesta seção, descreveremos alguns dos conceitos relacionados a arquiteturas de agentes. Primeiramente daremos duas definições extraídas do trabalho de Wooldridge e Jennings [WOOLDRIDGE 1995].

Maes define uma arquitetura de agentes como:

*“Uma metodologia particular para a construção de agentes. Especifica como ... os agentes podem ser decompostos na construção de um conjunto de módulos (componentes) e como estes módulos podem interagir entre si. O conjunto total de módulos e suas interações deve especificar como os dados dos sensores e o estado interno do agente serão utilizados para determinar as ações realizadas pelo agente... e seu futuro estado interno. Uma arquitetura envolve técnicas e algoritmos que suportem esta metodologia.”*

Kaelbling considera uma arquitetura de agentes como:

*“Uma coleção específica de módulos de software (ou hardware), tipicamente designados por caixas com setas que indicam os dados e o fluxo de controle entre os módulos. Uma visão mais abstrata de uma arquitetura é uma metodologia geral para projetar a decomposição em módulos particulares direcionados a tarefas particulares.”*

#### 3.3.1 Enfoques Clássicos: Arquiteturas Deliberativas

Pode-se definir um agente deliberativo ou arquitetura deliberativa de agente, como um agente que contenha uma representação explícita de um modelo simbólico do mundo. Neste, as decisões (por exemplo, as ações a serem executadas) são determinadas através de um raciocínio lógico (ou pelo menos pseudo-lógico), baseado em padrões de “*matching*” e manipulação simbólica. A idéia de agentes deliberativos baseados puramente em um raciocínio lógico é extremamente tentadora. Para fazer com que o agente esteja de acordo com alguma teoria de agentes, poderíamos ingenuamente supor que é suficiente dar-lhe uma representação lógica desta teoria e fazer com que o agente realize alguma prova de teorema. Se tratarmos de construir um agente por esta via, teríamos pelo menos dois problemas importantes a serem resolvidos:

- **Problema da tradução** (*the transduction problem*): como traduzir o mundo real em uma descrição simbólica exata e adequada, que por sua vez, possa ser útil.

- **Problema da representação e/ou raciocínio** (*the representation/reasoning problem*): como armazenar estruturas lógicas que correspondam a uma representação simbólica de processos e entidades complexas do mundo e como fazer com que os agentes realizem algum raciocínio sobre estas estruturas, obtendo resultados que possam ser úteis.

Apesar do imenso volume de trabalhos que estes problemas tem gerado, muitos pesquisadores aceitam a hipótese de estarmos ainda longe de vermos estes problemas resolvidos, lembrando que a lógica de primeira ordem não é nem sequer decidível e extensões modais a ela (incluindo representações de crenças, desejos, tempo e outras) tendem a ser altamente não-decidíveis. Talvez o mais problemático para a Inteligência Artificial Simbólica é que muitos dos algoritmos de interesse para a manipulação simbólica são intratáveis (parece difícil construir algoritmos úteis de manipulação simbólica que tenham a garantia de terminar em um limite de tempo fixo aceitável e com resultados úteis). Um exemplo da abordagem clássica são os agentes planejadores.

### ***Agentes planejadores***

Desde o início dos anos 70, os adeptos da abordagem "*planning*" dentro da Inteligência Artificial estiveram estreitamente preocupados com o *design* de agentes artificiais. De fato, parece razoável dizer que a maioria das inovações no *design* de agentes vem desta comunidade. Determinar planos é essencialmente uma tarefa de programação automática: verificar se uma ação (ou conjunto de ações), quando executada(s), vai resultar na obtenção de algum objetivo desejado. Dentro da comunidade da Inteligência Artificial Simbólica, existe a predisposição em aceitar que qualquer agente artificial deve possuir algum tipo de sistema de planejamento como componente central. Um sistema planejador muito conhecido é o STRIPS. Este sistema assume uma descrição simbólica do mundo, do objetivo desejado, e um conjunto de ações, caracterizadas por suas pré-condições e pós-condições associadas. O STRIPS tenta encontrar uma seqüência de ações que possa levar ao sucesso de alguma meta, usando uma análise simples de verificação de sucesso (*simple means-ends analysis*). Esta análise envolve essencialmente um *matching* das pós-condições das ações com o objetivo desejado. O algoritmo de planejamento STRIPS era muito simples e teve sua ineficiência comprovada para problemas com complexidade moderada. Outras técnicas foram desenvolvidas para melhorar este algoritmo, tais como os planejadores não lineares e os planejadores hierárquicos. Porém em meados dos anos 80, alguns resultados teóricos mostravam que essas técnicas de refinamento poderiam não ser úteis em qualquer sistema de tempo restrito. Apesar destas dificuldades, várias tentativas têm sido realizadas para construir agentes nos quais o componente primário é um algoritmo planejador. Os resultados obtidos nesta área tiveram uma profunda influência sobre as pesquisas posteriores feitas sobre os algoritmos planejadores. Talvez mais do que qualquer outra coisa, os fracassos obtidos tenham levado alguns dos pesquisadores a questionarem, em sua totalidade, o paradigma da Inteligência Artificial Simbólica, e por conseguinte conduzido-os a trabalhar com enfoques alternativos que serão apresentados a seguir.

### 3.3.2 *Enfoques Alternativos: Arquiteturas Reativas*

A rejeição e o questionamento da viabilidade do paradigma da Inteligência Artificial Simbólica conduziu ao que geralmente é conhecido como sendo as arquiteturas reativas. Estas não incluem nenhum tipo de modelo simbólico central do mundo e não utilizam raciocínio simbólico complexo.

#### *Linguagens de comportamento*

Woldridge e Jennings [WOOLDRIDGE 1995] consideram Rodney Brooks, pesquisador do MIT, como um dos principais críticos da noção de agência da Inteligência Artificial Simbólica, motivado pelas deficiências dos enfoques da Inteligência Artificial para construir mecanismos de controle para robôs móveis autônomos. Brooks [BROOKS 1986] resumiu uma arquitetura alternativa para construir agentes, chamada de arquitetura da subsunção (*subsumption architecture*). Ele propôs em trabalhos posteriores [BROOKS 1990, BROOKS 1991A, BROOKS 1991B] três teses chaves:

- Comportamento inteligente pode ser gerado sem as representações explícitas do tipo que a Inteligência Artificial propõe.
- Comportamento inteligente pode ser gerado sem um raciocínio abstrato e explícito do tipo que a Inteligência Artificial propõe.
- Inteligência é uma propriedade emergente de certos sistemas complexos.

Brooks também identificou duas idéias básicas que tiveram influência em suas pesquisas:

- *situatedness* e *embodiment*: inteligência “real” está localizada no mundo e não em sistemas incorpóreos tais como provadores de teoremas ou sistemas especialistas.
- *Inteligência e emergência*: comportamento “inteligente” surge como resultado de uma interação de um agente com seu ambiente. Também, a inteligência está no olho do observador e não é uma propriedade isolada nem inata.

#### *Outras arquiteturas reativas*

Outros trabalhos foram desenvolvidos para explorar alternativas para o paradigma da Inteligência Artificial planejadora. Entre eles podemos citar os seguintes:

- Sistema PENGI: Jogo de computador desenvolvido por Agre & Chapman. Agre tinha observado que a maioria das atividades diárias são uma “rotina”, ou seja, envolvem somente pequenas adaptações sobre atividades que já são conhecidas. Novas tarefas, uma vez aprendidas, podem ser incorporadas como novas rotinas, passando a incorporar o conjunto de atividades conhecidas. Agre propôs que uma arquitetura de agente eficiente pode ser baseada nos “argumentos de funcionamento”. Em resumo, a idéia é que a maioria das decisões são rotinas, as quais podem ser codificadas em uma estrutura de baixo nível (tais como um circuito digital), que somente necessitará ser atualizada periodicamente, por exemplo para resolver novos tipos de problemas. [AGRE 1987].

- **Arquitetura de Rede de Agentes:** Pattie Maes desenvolveu uma arquitetura de agentes na qual um agente é definido como um conjunto de módulos que competem entre si [MAES 1991]. Estes módulos tem uma pequena semelhança com a arquitetura de subsunção de Brooks. Cada módulo é especificado pelo projetista, em termos de suas pré e pós-condições e um nível de ativação, o qual oferece um valor real que indica a relevância de um módulo em uma situação particular. Quanto maior for o nível de ativação de um módulo, mais provável é a sua influência na conduta do agente. Uma vez especificado, o conjunto de módulos que competem são compilados dentro de uma rede de ativação distribuída (*spreading activation network*), onde os módulos são conectados uns aos outros segundo suas pré e pós-condições. Quando um agente está executando alguma tarefa, diferentes módulos podem ser mais ativos que outros, em determinadas situações, o que permite que estes possam ser executados. O resultado dessa execução pode ser um comando para uma unidade atuadora ou um incremento no nível de ativação de outro módulo conectado a ele.

### **3.3.3 Arquiteturas Híbridas**

Muitos pesquisadores sugeriram que nem um enfoque completamente deliberativo, nem um completamente reativo é apropriado para a construção de agentes. Discute-se então, o caso dos sistemas híbridos, abordagem que associa ambos enfoques. Um enfoque óbvio é construir um agente com dois (ou mais) sub-sistemas, um deles deliberativo (que contenha um modelo simbólico do mundo, desenvolva planos e tome decisões) e outro reativo (que seja capaz de reagir aos eventos que ocorrem no ambiente sem envolver raciocínios complexos). Com frequência o componente reativo é colocado com algum tipo de precedência sobre o componente deliberativo. Desta forma, ele pode oferecer uma resposta rápida a eventos importantes do ambiente. Este tipo de estrutura leva naturalmente à idéia de uma arquitetura em camadas. Nesta arquitetura, os sub-sistemas de controle de agentes são organizados dentro de uma hierarquia, na qual as camadas mais altas lidam com as informações em níveis crescentes de abstração. Assim, por exemplo, as camadas mais baixas poderiam mapear diretamente os dados dos sensores para as saídas dos atuadores sem nenhum tratamento prévio, enquanto as camadas superiores fazem o tratamento das tarefas de longo prazo. O principal problema nesta arquitetura é que o tipo de estrutura de controle deverá ser embutida nos sub-sistemas de agentes para manipular as interações entre as diferentes camadas. Dois bons exemplos desta arquitetura são a "Máquina de Turing" desenvolvida por Ferguson e descrita por Wooldridge e Jennings [WOOLDRIDGE 1995] e InteRRaP (Figura 3.1) [BRENNER 1998]. Outro exemplo das arquiteturas híbridas é o *Procedural Reasoning System* (PRS) .

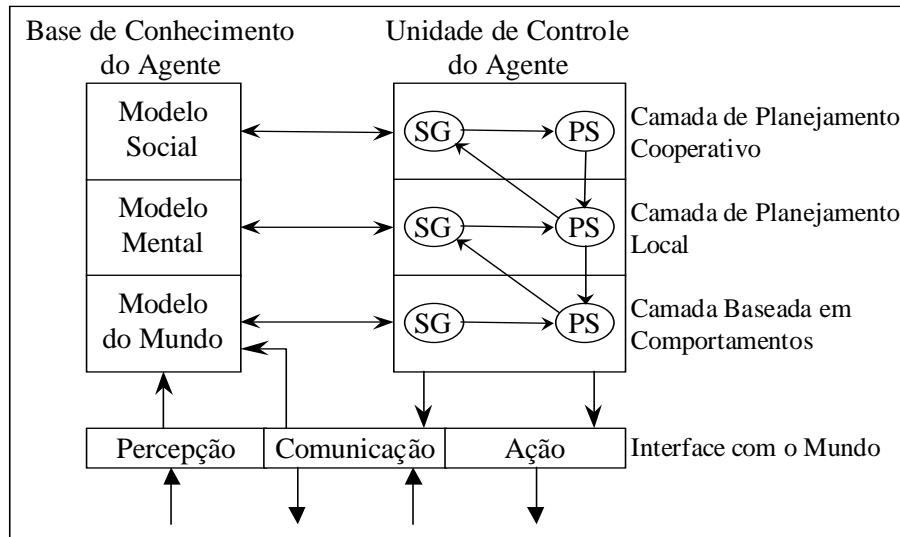


Figura 3-1 - Arquitetura híbrida InteRRaP

### 3.4 Tipologias de Agentes

Existem diferentes critérios para a classificação de agentes. Por exemplo, os agentes podem ser classificados por sua mobilidade, ou seja, sua habilidade em mover-se por diferentes nós de uma rede. Segundo este conceito os agentes podem ser classificados como agentes estáticos ou agentes móveis. Outra possível classificação pode ser feita segundo sua arquitetura. Assim, eles poderiam ser classificados como deliberativos ou reativos (também conhecidos na literatura como reflexivos).

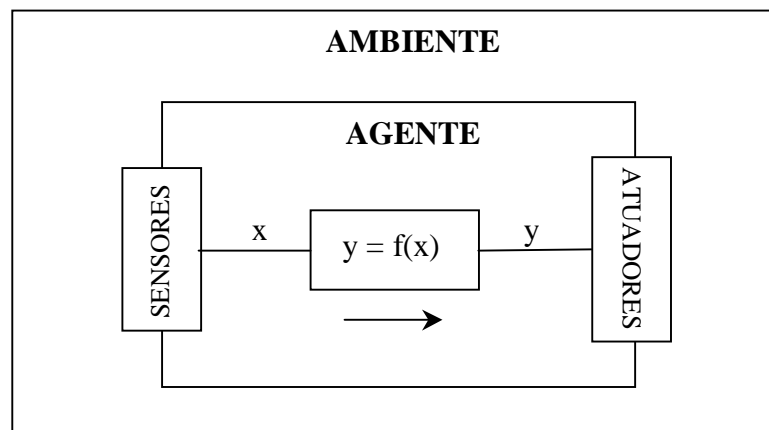
Os agentes também podem ser classificados segundo os diferentes atributos que possam idealmente exibir. Neste sentido, Hyacinth Nwana [NWANA 1996A, NWANA 1996B, NDUMU 1997, NWANA 1998], em seus trabalhos, descreve uma classificação prática dos agentes (baseado em alguns casos no que são os agentes, e outros no papel que eles executam), resultando na seguinte classificação:

- **Agentes colaborativos** (*Collaborative Agents*): agentes geralmente estáticos, grandes e de “grânulo grosso”, sobre os quais há ênfase na autonomia e cooperação com outros agentes para executar tarefas em prol de seus proprietários, em ambientes multi-agente abertos ou de tempo limitado. Eles podem ter aprendizado, mas este atributo não é geralmente de maior importância em sua operação. Para coordenar suas atividades, eles podem realizar algum tipo de negociação para alcançar acordos mutuamente aceitáveis.[NWANA 1996C]
- **Agentes de interface** (*Interface Agents*): suportam e fornecem uma ajuda pró-ativa, geralmente para um usuário utilizando um programa de aplicação complexo. Este tipo de agente enfatiza sua autonomia e capacidade de aprendizado para executar as tarefas em nome de seus proprietários. Uma metáfora usada para definir os agentes de interface, é que são *assistentes pessoais* os quais estão colaborando com o usuário no mesmo ambiente de trabalho. Sua cooperação com outros agentes, se existe, é tipicamente limitada para responder às consultas.[MAES 1994, LASHKARI 1994, KODA 1996]

- **Agentes móveis** (*Mobile Agents*): processos de software com capacidade de movimentar-se através das redes de longo alcance (*WANs, Wide Area Networks*), como é o caso da *WWW (World Wide Web)*, interagindo com *hosts* externos, executando tarefas em nome de seus proprietários e retornando a sua origem com o resultado das tarefas executadas. Estas tarefas ou obrigações podem ser as mais diversas possíveis, desde fazer uma reserva de vôo até manipular uma rede de telecomunicações.
- **Agentes de informação** (*Information Agents*): administradores de informação *WWW* pró-ativos, dinâmicos, adaptativos e cooperativos que executam o papel de administradores, manipuladores ou coletores de informação de qualquer recurso distribuído.[PETRIE 1996]
- **Agentes reativos ou reflexivos** (*Reactive Agents*): agentes que não possuem internamente modelos simbólicos de seus ambientes, embora respondam de maneira “estímulo–resposta” ao estado atual do ambiente no qual são colocados.
- **Agentes híbridos** (*Hybrid Agents*): agentes cuja constituição é uma combinação de duas ou mais filosofias.
- **Sistemas de agentes heterogêneos** (*Heterogeneous Agent Systems*): algum software baseado em agentes que combine dois ou mais agentes das categorias descritas acima.

Outra possível classificação de agentes [GUDWIN 2000] leva em consideração a estrutura interna funcional do agente. Nesse caso, podemos ter:

- **Agentes Reativos ou Reflexivos:** apresentam um processo único de percepção–ação (reflexo). A ação é uma função direta das entradas dos sensores. Esta função pode ser qualquer conjunto de regras condição–ação (*fuzzy* ou binária), uma rede neural ou uma função matemática. (figura 3.2).

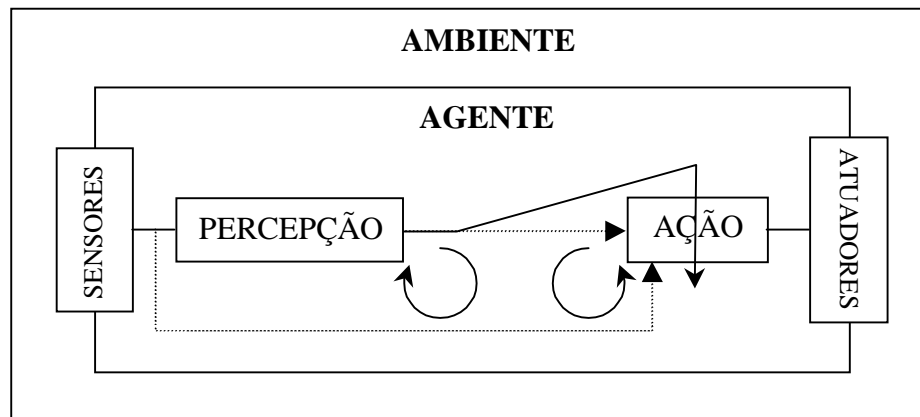


**Figura 3-2 - Exemplo de um agente reativo ou reflexivo.**

- **Agentes Comportamentais:** apresentam processos independentes de percepção e ação. Neste caso, a percepção é um processo independente, controlado pelo módulo de percepção. Contém um conjunto pré-definido de

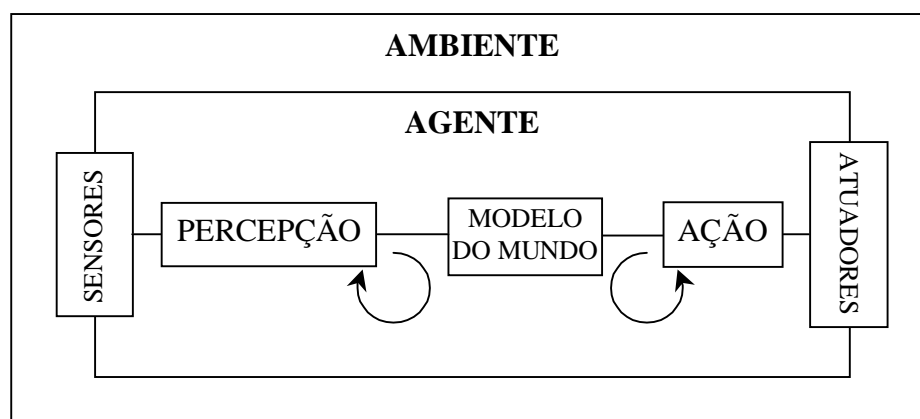


comportamentos, que são selecionados dependendo da percepção. O cumprimento de suas tarefas depende de uma especificação adequada do conjunto de comportamentos disponíveis. (figura 3.3).



**Figura 3-3 - Exemplo de um agente comportamental**

- **Agentes Planejadores:** apresentam também processos independentes de percepção e ação, mas possuem internamente uma representação interna do mundo (modelo do mundo, que pode ser conhecido “a priori” ou pode ser aprendido por meio da interação com o ambiente, através dos mecanismos de percepção). A ação não é gerada diretamente pela percepção, devido à existência de um mecanismo de geração de comportamentos, capaz de elaborar previsões (usando o modelo do mundo) de como o mundo se comportará diante de possíveis ações tomadas pelo agente, além de um mecanismo de geração de planos (conjunto de ações a serem tomadas pelo agente) que permitirão ao agente escolher o plano que melhor satisfizer os objetivos do sistema e executá-lo efetivamente. (figura 3.4).



**Figura 3-4 - Exemplo de um agente planejador.**

- **Agentes Emocionais:** muito parecido com os agentes planejadores, só acrescido de um sistema de valores (emoções - por exemplo: medo, desejo,

dor, alegria) que permitirá avaliar internamente se os objetivos do agente estão sendo cumpridos. Também podem ser utilizadas de modo a influir no planejamento de futuras ações, além de que podem ser atribuídas a estados atuais ou a previsões de estados futuros. (figura 3.5).

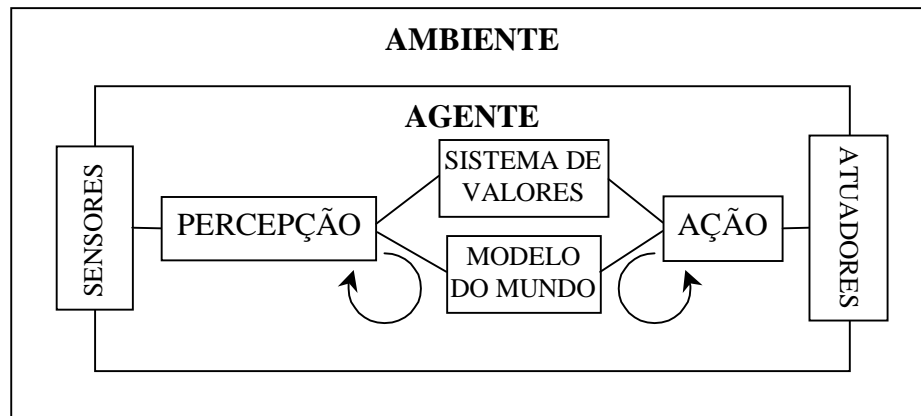


Figura 3-5 - Exemplo de um agente emocional.

- **Agentes Comunicativos:** possuem um canal de comunicação direta. Somente há sentido em se falar deste tipo de agentes em sistemas multi-agentes. Precisam de uma linguagem de comunicação de agente (ACL, *Agent Communication Language*) para a colaboração ou cooperação entre agentes. (figura 3.6).

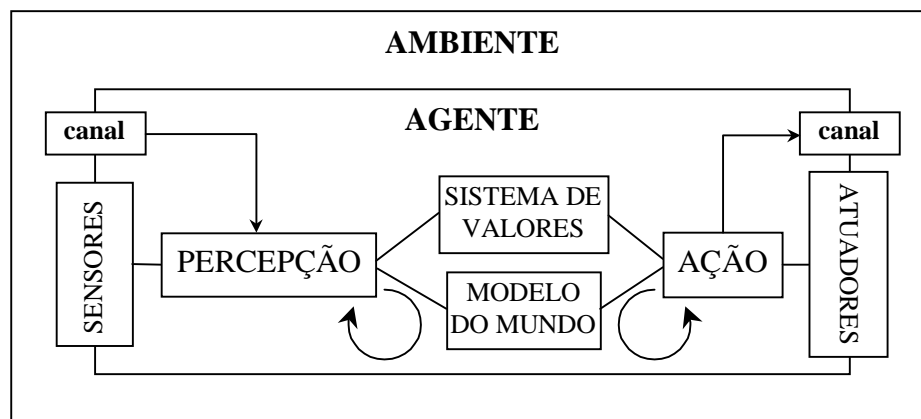


Figura 3-6 - Exemplo de um agente comunicativo.

- **Agentes Semióticos:** parecidos com os agentes comunicativos, mas não precisam de canais de comunicação direta, visto que o próprio ambiente é o canal de comunicação que será usado por eles para a colaboração ou cooperação entre si. Este tipo de agente precisa de mecanismos de percepção e ação muito mais sofisticados que nos casos anteriores, pois eles terão que interpretar e gerar signos para o ambiente. (figura 3.7).

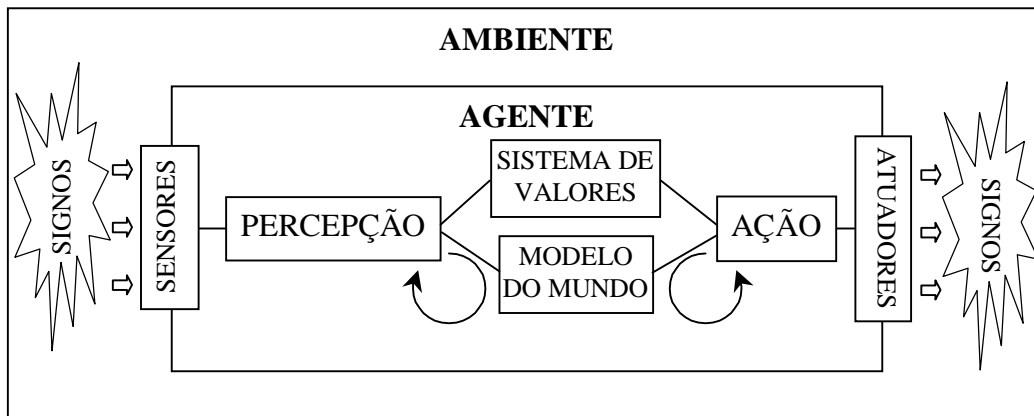


Figura 3-7 - Exemplo de um agente semiótico.

### 3.5 Linguagens de Agentes

O termo "Linguagens de Agentes" é utilizado na literatura indistintamente para representar dois tipos completamente diferentes de linguagens. De um lado, temos as linguagens de programação utilizadas para o desenvolvimento de agentes, que chamaremos aqui de linguagens para o desenvolvimento de agentes. Por outro lado, temos as linguagens de interação entre agentes, ou seja, linguagens que são utilizadas entre dois agentes para interagirem entre si.

#### 3.5.1 Linguagens para o Desenvolvimento de Agentes

Com o desenvolvimento da tecnologia de agentes, uma grande variedade de ferramentas de software encontram-se disponíveis para o *design* e construção de sistemas baseados em agentes. O número emergente de protótipos de linguagens para o desenvolvimento de agentes é um sinal de que a tecnologia de agentes está sendo amplamente utilizada e que muitas aplicações baseadas em agentes estão sendo desenvolvidas.

Wooldridge e Jennings [WOOLDRIDGE 1995] escreveram a respeito:

*“por uma linguagem de agente, entendemos um sistema que nos permita programar hardware ou software de sistemas de computação em termos de alguns dos conceitos desenvolvidos pelos teóricos de agentes. Como mínimo, esperamos que tal linguagem inclua alguma estrutura correspondente a um agente”*

Como a questão “O que é um agente?” é muito polêmica e não existe um consenso (e possivelmente nunca exista) com respeito a esta questão, alguns pesquisadores consideram uma linguagem como linguagem de agentes e outros podem não considerá-la da mesma maneira. Em alguns casos, temos linguagens que foram desenvolvidas com o explícito propósito de serem utilizadas para a construção de agentes. Em outros casos, temos apenas linguagens de programação convencionais que podem ser utilizadas para a construção de agentes. O que é certo, é que elas prestam-se em diferentes graus para diferentes tipos de definições e aplicações de agentes.

Tipo(s) de agente	Classe de linguagem	Exemplo(s)
Agentes colaborativos	Linguagens Actor	Actors
	Linguagens de programação orientada a agentes	Agent-0 PLACA
Agentes de interface	Linguagens Scripting	TCL/Tk Safe-TCL, Safe-Tk
Agentes de Informação		Java
		TELESCRIPT Active web tools
Agentes móveis		Python
		Obliq
		APRIL
Agentes reativos	Linguagens reativas	RTA/ABLE

**Tabela 3.1 - Algumas linguagens de desenvolvimento de diferentes aplicações baseadas em agentes.[Nwana 96d]**

A tabela 3.1 apresenta algumas linguagens para o desenvolvimento de sistemas baseados em agentes. Nesta tabela não são apresentadas linguagens apropriadas para o desenvolvimento de sistemas multi-agentes colaborativos, visto que em geral, os agentes colaborativos são muito mais complexos que os agentes de interface, de informação ou móveis. Além de linguagens, eles precisam de arquiteturas ou plataformas para sua construção. Como alternativa eles podem ser construídos completamente usando alguma linguagem de terceira geração, como é o caso do C++, Java, Smalltalk ou Prolog.

### 3.5.2 Linguagens para a Interação entre Agentes

Mostramos na seção anterior algumas linguagens utilizadas para o desenvolvimento de agentes, ou seja, linguagens utilizadas na criação dos agentes. É importante destacar que existem outros tipos de "linguagens de agentes" que correspondem à linguagem que dois ou mais agentes utilizam para interagir entre si. Esta terminologia é usual dentro do contexto de sistemas multi-agentes, sendo que as "linguagens de interação entre agentes" são utilizadas para o intercâmbio de conhecimento a ser compartilhado entre os agentes que cooperam e/ou colaboram em sistemas deste tipo. Dois tipos de linguagens de interação entre agentes são destacados na literatura: as chamadas Linguagem de Comunicação entre Agentes (ACL<sup>1</sup>) [NWANA 1996D] e as chamadas Linguagens de Conteúdo (CL<sup>2</sup>).

As ACL são utilizadas para deixar explícito o ato comunicativo relacionado à mensagem, ou seja, destaca-se o ato comunicativo pretendido pelo agente quando de sua comunicação com seu interlocutor. Alguns exemplos de ACL são o KQML (*Knowledge Query and Manipulation Language*) e o FIPA-ACL (*Foundation for Intelligent Physical Agents - Agents Communication Language*). As CL, por sua vez, são utilizadas para expressar o conhecimento que

<sup>1</sup> ACL – Agents Communication Language

<sup>2</sup> CL – Content Language

se deseja compartilhar com o destinatário da mensagem. Exemplos de linguagens deste tipo são o KIF(*Knowledge Interchange Format*), FIPA-CLL(*FIPA Content Language Library*), FIPA-SL(*FIPA Semantic Language*), FIPA-RDF (*FIPA Resource Description Framework*), FIPA-CCL(*FIPA Constraint Choice Language*) e o FIPA-KIF(*FIPA Knowledge Interchange Format*).

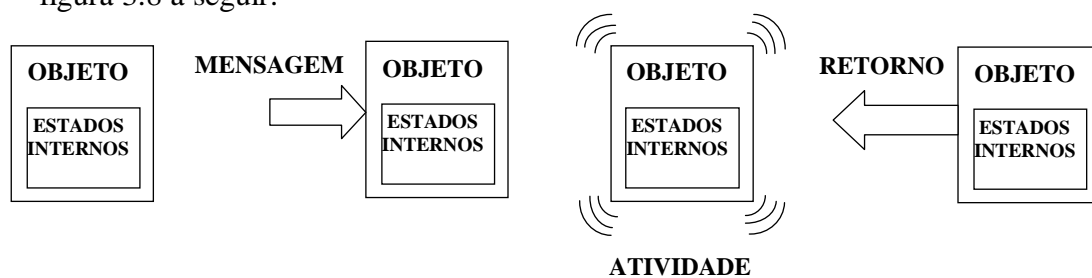
### 3.6 Agentes e o Desenvolvimento de Sistemas

A metáfora de agentes pode ser muito útil no desenvolvimento de aplicações de software de alta tecnologia. Dentre outros exemplos, podemos citar a aplicação de agentes para comunicação via internet, aplicações na área da saúde, finanças, comércio eletrônico, mídia e entretenimento, além de diversos outros nichos de aplicações onde o uso de agentes pode trazer novas funcionalidades e novos tipos de serviços não encontrados nos sistemas convencionais [MURCH & JOHNSON 1999]. Assim, podemos considerar o uso de agentes no desenvolvimento de sistemas computacionais como uma técnica alternativa de desenvolvimento, que poderia, em tese, ser comparada a outras técnicas tais como a programação estruturada ou a programação orientada a objetos. Esta técnica ficou conhecida na literatura como programação orientada a agentes, ou engenharia de software orientada a agentes [CIANCARINI ET.AL 2000; WOOLDRIDGE ET.AL. 2001].

#### 3.6.1 Objetos e Agentes

O desenvolvimento de sistemas baseados em agentes, exige algumas mudanças paradigmáticas na maneira como o sistema é arquitetado pelo projetista, quando comparado, por exemplo, com um sistema orientado a objetos.

Agentes e objetos compartilham diversas propriedades comuns, mas são radicalmente diferentes sob alguns aspectos. Tanto agentes como objetos são componentes independentes que interagem entre si compondo o que seria o nosso sistema em questão. Em sistemas orientados a objetos, estes componentes são todos objetos, que interagem entre si por meio da troca de mensagens. Cada objeto provê um serviço, ou uma funcionalidade, que é acionada por meio de uma mensagem especializada, que desencadeia um certo comportamento do objeto servidor e uma eventual resposta, se for o caso. Um exemplo deste mecanismo pode ser visto na figura 3.8 a seguir:

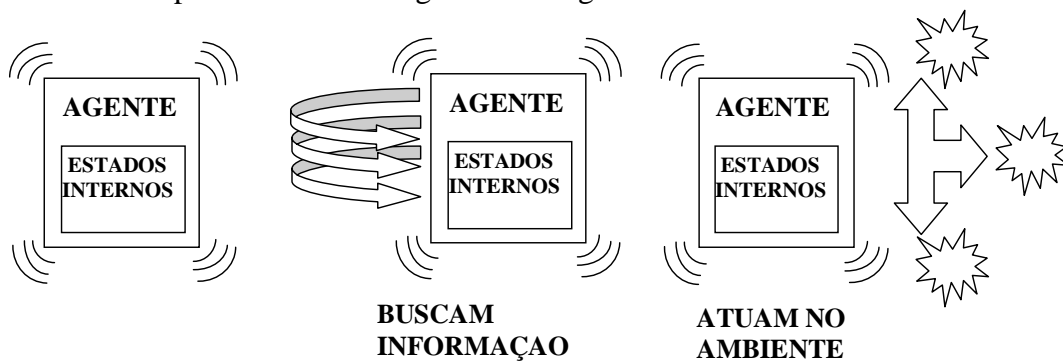


**Figura 3-8 - Comportamento Esperado de um Objeto**

Objetos são portanto metáforas computacionais que emulam características dos objetos do cotidiano: possuem estados internos que o descrevem, podem receber mensagens, a partir das quais realizam uma atividade, que é determinada conforme as mensagens enviadas e seus correspondentes parâmetros e podem ser classificados hierarquicamente em classes, que basicamente descrevem os estados internos e as mensagens que um objeto de uma determinada classe pode receber.

Objetos podem assim ser comparados a máquinas, que são alimentadas com mensagens, e provêm o comportamento prescrito por estas mensagens. Têm como características a previsibilidade no comportamento do objeto (ou seja, para cada mensagem se obtém um comportamento desejado previamente prescrito) e o comportamento passivo que é esperado em uma máquina. Um objeto não age por si só. Ele simplesmente responde a uma requisição de serviço, e enquanto não está “em serviço” fica inerte, sem funcionamento. Podemos assim dizer que um objeto não “busca” mensagens, só as recebe. E quando recebe, provê a funcionalidade desejada atribuída a ela.

Agentes, por outro lado, constituem metáforas computacionais que emulam o comportamento de agentes do cotidiano. Da mesma maneira que os objetos, possuem estados internos que os descrevem, mas seu comportamento é radicalmente diferente do de objetos. Agentes podem extrair dados de seu ambiente por meio de seus sensores e atuar sobre o ambiente por meio de seus atuadores. Além disso, agentes possuem um ciclo de vida interno por meio do qual constantemente senseiam e atuam sobre seu ambiente. Uma representação deste mecanismo pode ser visto na figura 3.9 a seguir:

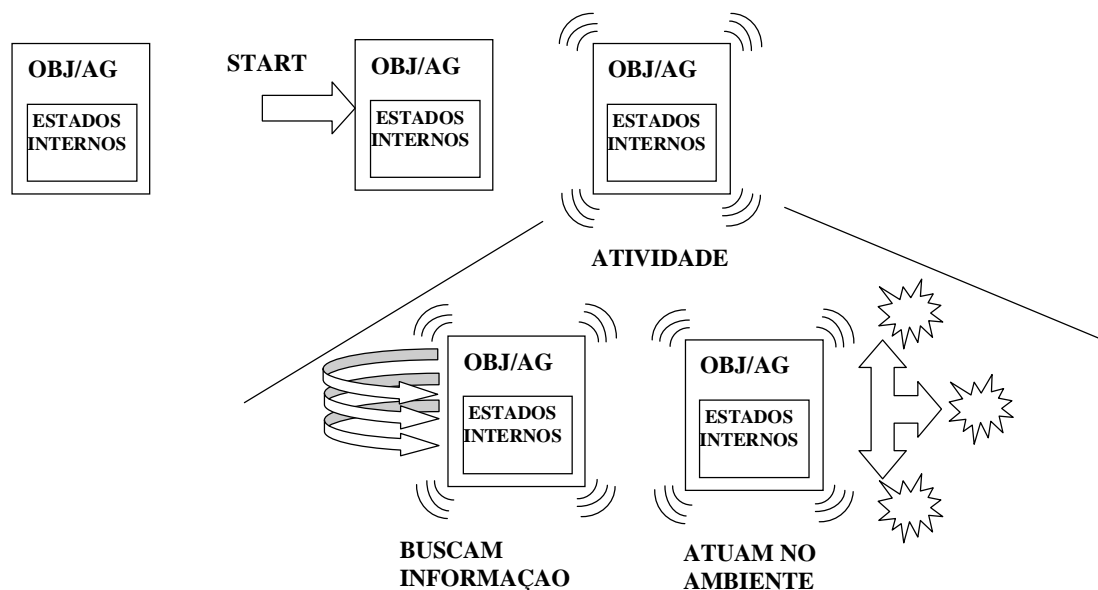


**Figura 3-9 - Comportamento Esperado de um Agente**

Assim, ao contrário dos objetos, que podiam ser comparados a máquinas, os agentes poderiam talvez serem comparados a organismos, que mantém uma atividade incessante de busca por informação e atuação no ambiente. Seu comportamento interno é determinado pela constituição do agente e as seguintes características podem ser nele identificadas:

- nunca cessa atividade
- comportamento pode ser imprevisível
- agente age por si só
- agente não “recebe comandos”, mas busca por mensagens enviadas na forma de informações do ambiente, que são decodificadas, podendo influenciar o comportamento do agente

Mas será que agentes e objetos não possuem mesmo nada em comum ? Na verdade, veremos que essa diferença constitui somente uma especialização, e os agentes podem ser vistos como um tipo específico de objeto, conforme ilustrado na figura 3.10 a seguir:



**Figura 3-10 - Agentes podem ser vistos como Objetos**

A diferença que teremos entre agentes e objetos é que para garantir que um agente possua um ciclo de vida independente, ele deve possuir sua própria *thread* de controle [TANENBAUM 2001]. Assim, podemos enxergar um agente como um objeto que recebe uma única mensagem, invocando seu método "*start*". Após receber essa mensagem, o agente/objeto inicia sua própria *thread* de controle, onde implementará seu ciclo de vida, que deverá continuar até que o agente seja destruído. Nesse ciclo de vida, o agente deverá coletar informações de seu meio ambiente, processá-las e atuar sobre o meio ambiente, conforme se esperaria do funcionamento de um agente.

Assim, podemos implementar computacionalmente um agente como um objeto de software. Com isso, veremos que agentes e objetos irão possuir diversas propriedades comuns, tais como o encapsulamento, a herança (com certa frequência) e o uso de uma interface baseada em mensagens para a interação entre agentes/objetos. As semelhanças que tem os objetos e os agentes, possibilitam que algumas linguagens orientadas a objetos, tais como, Smalltalk, C++ ou Java se prestem para a construção de sistemas de agentes.

### 3.6.2 Desenvolvendo Agentes

Agentes podem ser integrados a sistemas de software na forma de componentes especialmente desenvolvidos para operar de maneira pró-ativa e contínua. Desta forma, pode-se adotar as mesmas metodologias de projeto de software utilizadas, por exemplo, em sistemas orientados a objetos, com apenas pequenas modificações. Essas modificações ocorrem principalmente na fase de design, durante a atribuição de funcionalidades (responsabilidades) aos componentes de software. Nesse instante, ao invés de se projetar um componente na forma de um autômato (ou seja, um grupo de objetos trocando mensagens entre si, o que seria natural na metodologia orientada a objetos), utiliza-se a metáfora de um agente. Nesse caso, o design do componente-agente passará por etapas de definição das responsabilidades do agente (sua motivação – geratriz do comportamento pró-ativo), e ciclo de vida. A atribuição de uma motivação a um

agente não é uma tarefa trivial, sendo atualmente fonte de inspiração para toda uma área de pesquisas dentro do tema “sistemas inteligentes”.

Uma possível metodologia para o design de um agente, que poderia metaforicamente estar associada ao design da “mente” do agente é exatamente a semiônica, que será apresentada mais a frente no capítulo 8. Essa abordagem modela todo o funcionamento dos agentes como um processo de processamento de signos, desde os signos icônicos, mais voltados para os dados sensoriais e criações de modelos representacionais para esses dados, até signos indiciais, que nos remetem a outros signos e símbolos, que podem ter sua semântica atribuída por meio de aprendizado. Conforme vimos no capítulo 2, a semiótica é a disciplina que estuda os diferentes tipos de signos e seu possível processamento. Assim, utilizando um processo que chamamos de síntese semiótica, cria-se uma metodologia de design para agentes, permitindo sua integração a um projeto de software.

### **3.7 Resumo**

Neste capítulo, introduzimos alguns conceitos fundamentais da teoria de agentes. Apresentamos os diversos conceitos de agentes encontrados na literatura, apresentamos as diferentes propostas de arquiteturas de agentes e da mesma maneira as tipologias de agentes encontradas. Em seguida, discorremos sobre as linguagens de agentes e por fim apresentamos o impacto da tecnologia de agentes no desenvolvimento de sistemas computacionais. Por fim, justificamos o interesse nesta tecnologia de agentes, como um possível nicho de aplicações para a teoria semiônica a ser desenvolvida nesta tese.



# 4.O Controle Situacional Semiótico de Pospelov

## 4.1 Introdução

A modelagem semiótica de sistemas de controle inteligente, na Rússia, tem sua origem nos trabalhos de Pospelov [POSPELOV 1971, POSPELOV ET.AL. 1970], no final dos anos 60 e início dos anos 70. Pospelov e todo um grupo de pesquisadores que nele se inspiraram [KHOROSHEVSKY 1995; OSIPOV 1981; OSIPOV 1982; DOLMOTOVA ET.AL. 1995; SULOSKY 1996; PRUEITT 1996], criaram um movimento científico que nasceu na Academia de Ciências Soviética (CCCA), e que foi disseminado por toda a Rússia, dando origem a um conjunto de métodos de controle de sistemas, denominado Controle Situacional Semiótico (CSS). Antes de prosseguirmos com os detalhes do método, é necessário entretanto compreendermos que tipo de sistema Pospelov se propunha a controlar com essa metodologia. Seu interesse não era controlar sistemas mais tradicionais, para os quais outras abordagens de controle já eram conhecidas e bem empregadas. A classe de sistemas à qual Pospelov direcionou seus esforços é a de sistemas abertos complexos de grande porte: sistemas como sistemas ecológicos, sistemas sociais, grandes organizações comerciais e/ou industriais. Segundo Pospelov, para se resolver um problema de controle deste tipo, são necessários os seguintes passos [MEYSTEEL 1995]:

1. Ter a percepção do objeto controlado e do ambiente no qual o sistema está imerso,
2. Analisar os dados percebidos em todas as multiplicidades de detalhes possíveis,
3. Correlacionar a análise com informações armazenadas na memória, sem a omissão dos links de mais alta resolução (detalhes do modelo),
4. Classificar os resultados da correlação com a certeza que nada tenha sido sacrificado,
5. Construir, manter, e atualizar relacionamentos entre e por meio dos conceitos percebidos e armazenados em todos os níveis de generalização,

6. Sintetizar, ou descobrir que ação deve ser tomada para satisfazer a meta do controlador, levando em consideração todas essas generalizações.

O CSS focaliza, portanto, sobre o controle de sistemas onde é difícil descrever a estrutura e o funcionamento específico do objeto, onde o comportamento de pessoas ou outras entidades ativas tem um impacto imprevisível sobre o sistema, e onde o sistema evolui através do tempo, incrementando a sua complexidade [POSPELOV 1995]. Dentre outras peculiaridades, um CSS é caracterizado pela utilização das seguintes abordagens [POSPELOV 1991]:

- Introdução do conceito de situação,
- A classificação de situações,
- Transformações de situações por métodos formais de semiótica.

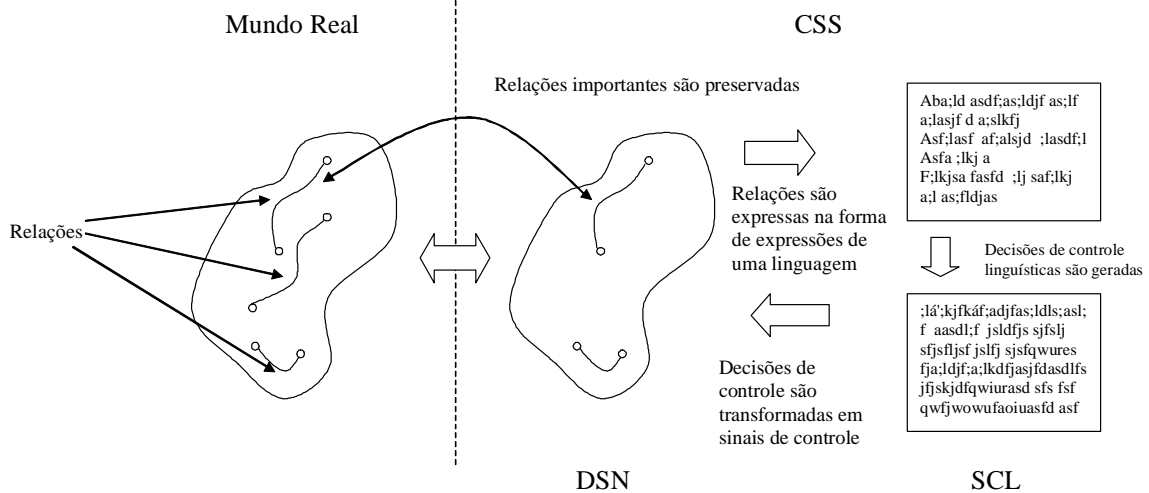
Assim, o CSS tem como principal característica a introdução de métodos lógico-linguísticos na engenharia de controle, visando a solução de problemas para os quais os métodos de controle clássicos não são aplicáveis [POSPELOV 1995, POSPELOV ET.AL. 1995].

Uma análise precipitada da abordagem de Pospelov poderia facilmente confundi-la com uma espécie de versão russa para o que hoje conhecemos no ocidente como sistemas especialistas (*expert systems*), ou técnicas correlatas ao que hoje chamaríamos de Inteligência Artificial clássica, baseadas em lógica matemática e mecanismos de inferência dedutiva [RUSSEL & NORVIG 1995]. No entanto, ao contrário das abordagens ocidentais, que focalizaram no processamento simbólico, e com isso nos legaram uma série de problemas tais como a falta de fundamento simbólico (*symbol grounding problem*), o problema do enquadramento (*frame problem*), o problema da visão de referência (*frame-of-reference problem*) e o problema da contextualização (*situatedness problem*) (vide capítulo 1), a abordagem de Pospelov não se limitou a um processamento simbólico-dedutivo, mas efetuou um amplo aproveitamento dos conceitos semióticos, onde a unidade elementar é o signo e não o símbolo, sendo que outros tipos de signos tais como os ícones e os índices também podem participar, e o processamento não fica restrito ao processamento sintático, mas também ao semântico e ao pragmático. Com o uso de um **Modelo Semiótico**, a metodologia de Pospelov se mostra uma abordagem muito mais completa e abrangente que as abordagens clássicas de inteligência artificial.

De uma forma geral, um **Modelo Semiótico** (MS) pode ser visto como uma rede, onde cada nó representa um sistema formal, e cada arco entre os nós da rede representa uma transição, que permite que se passe de um sistema formal a outro sistema formal, a partir de certas regras de transição. Essa capacidade de passar de um sistema formal a outro é a grande diferença entre o modelo de Pospelov e os modelos lógicos ocidentais. Modelos semióticos são baseados nas relações determinadas por conexões pragmáticas, podendo ser armazenados em redes semânticas e expressos por meio de estruturas sintáticas [ALBUS EM MEYSTEEL 1995]. Um modelo semiótico é, entretanto, uma entidade abstrata e geral, que pode ser instanciada e utilizada de diferentes formas. O CSS é uma dessas instanciações. Vejamos como ela é implementada.

A figura 4.1 apresenta um sumário da organização de um CSS. No mundo real, temos o sistema que desejamos controlar. Esse sistema está caracterizado por possuir diversas relações, que definem sua estrutura organizacional. Dentro do CSS temos, como um modelo direto do sistema, a figura de um DSN, ou **Rede**

**Situacional Discreta** (*Discrete Situational Network*). O uso de uma DSN como modelo direto do sistema, assume que o sistema em questão é um sistema a eventos discretos. Assim, um DSN nada mais é do que uma ferramenta matemática para a modelagem de um sistema a eventos discretos. Essa ferramenta, como veremos adiante, é uma rede de autômatos. Analisando um DSN do ponto de vista da ciência ocidental, poderíamos alternativamente utilizar uma rede de Petri ou algo equivalente para a mesma finalidade.



**Figura 4-1 - Organização de um CSS**

Um DSN possui uma dinâmica discreta, que representa a dinâmica das mudanças no mundo. Essa dinâmica é representada sob a forma de **situações**. Uma situação nada mais é do que o retrato de um DSN em um determinado instante de tempo. Até esse ponto, o modelo de Pospelov não apresenta nada de extraordinário. É a partir daqui, entretanto, que o CSS passa a mostrar seu ineditismo. A partir de uma determinada situação da rede, que representa um estado de coisas no mundo real, essa situação passa a ser descrita em termos de sentenças de uma linguagem especial, chamada de SCL, ou **Linguagem de Controle Situacional** (*Situational Control Language*). Uma das características da SCL é que ela possui uma semântica exata e bem definida, dada a partir do modelo matemático do DSN. Uma das grandes idéias de Pospelov é exatamente a atribuição da semântica das expressões da linguagem às situações do DSN. Se a semântica das expressões fosse atribuída diretamente aos fenômenos do mundo real, essa semântica seria cheia de ambiguidades e imperfeições, dado o aspecto impreciso, incerto e muitas vezes desconhecido dos fenômenos do mundo real. Ao atribuir a semântica das expressões da linguagem ao DSN, foi possível a determinação de uma linguagem com semântica muito bem definida, mas que apesar disso apresenta uma grande similaridade com uma linguagem natural. Assim, a SCL apresenta estruturas linguísticas semelhantes às de uma linguagem natural, incluindo conceitos, nomes, relacionamentos, ações, avaliações, quantificadores, e operadores modais, tais como, possibilidade, prioridade e probabilidade. Essas estruturas são utilizadas para a descrição das situações discretas encontradas na rede, e para a descrição de como o sistema se comporta, ou deve se comportar [ALBUS EM MEYSTEEL 1995].

Assim, utilizando a SCL, constrói-se uma base de **conhecimento semiótico** (KS), que compõe-se de descrições de situações e regras de atuação diante de

situações, descritas como sentenças de SCL. Para processar a KS, utiliza-se o conceito de **resolvedores semióticos** (RS), que aplicam os operadores de abdução, dedução e indução de modo a derivar novos conhecimentos. Os novos conhecimentos gerados que sejam decisões de atuação são então aplicados ao DSN, implicando em uma atuação direta no sistema sendo controlado.

Um sistema semiótico, segundo Pospelov, envolve portanto diversos componentes:

- Um **Modelo Semiótico** - que é um modelo abstrato instanciado em diversos pontos do sistema semiótico
- A **Rede Situacional Discreta** (DSN) - que descreve o sistema sendo controlado como um sistema a eventos discretos
- A **Linguagem de Controle Situacional** (SCL) - que permite a descrição de conhecimentos sobre o sistema, com sua semântica mapeada nos estados do DSN
- Uma **Base de Conhecimento Semiótico** (KS) - que armazena sentenças na SCL
- Um **Resolvedor Semiótico** (RS) - que processa o conhecimento em KS, gerando decisões de controle

Pospelov usa recursivamente o conceito matemático de redes para descrever os componentes de seu modelo. Dessa forma, o conceito de sistema semiótico pode ser compreendido como uma grande rede dual hierárquica, multidimensional e multiresolucional envolvendo Resolvedores semióticos (RS), que estruturam as interações entre o DSN e uma base de conhecimento semiótico (KS) escrita em termos de expressões de SCL.

## 4.2 Modelos Semióticos

Como já dissemos, um modelo semiótico pode ser entendido como um grafo onde os nós são modelos formais, e os arcos representam as relações de transformações de um modelo formal para outro. Dessa forma, um modelo semiótico corresponde ao conjunto de todos os possíveis modelos formais que poderiam ser utilizados para representar situações referentes a um sistema sendo controlado. Considere-se que estas mudanças (de um modelo formal para outro) tanto podem representar uma mudança efetiva no sistema sendo controlado como simplesmente uma mudança na descrição do sistema, por questões de conveniência de representação. A utilização de um modelo semiótico introduz mecanismos de variação dos elementos utilizados em um sistema formal, o que é uma característica própria dos sistemas semióticos. Utilizando a terminologia da semiótica, podemos dizer que essa mudança de um modelo formal para outro pode ser descrita em termos das mudanças nas relações sintáticas, semânticas, e pragmáticas envolvendo um conjunto de signos.

Formalmente, um modelo semiótico pode ser definido como a héptupla

$$W = \langle T, H, G, \theta, X, \Xi, \Omega \rangle,$$

onde os quatro primeiros elementos desta héptupla, T, H, G e  $\theta$  descrevem um sistema formal. Neste sistema,

- T é um conjunto de elementos básicos ,

- H é um conjunto de regras sintáticas que são usadas para formar expressões corretamente formadas de elementos de T,
- G é um conjunto de expressões que são declaradas expressões semanticamente corretas (SCE) e que por sua vez podem ser divididas em mensagens e axiomas, interpretadas como fatos e leis (causa-efeito, lógica, etc.), respectivamente ocorrendo no mundo externo,
- $\theta$  é um conjunto de regras que permitem a obtenção de novas expressões SCE a partir de elementos de G

As regras H são regras de reconhecimento, i.e., para qualquer expressão formada por elementos de T (sequência de elementos bases), um número finito de aplicações destas regras determina se a expressão é sintaticamente correta.

O conjunto G pode ser multi-estruturado, ou seja, pode ser estruturado em diferentes níveis hierárquicos, o que pode ser considerado durante a aplicação das regras  $\theta$ .

Os elementos seguintes da héptupla não são usados em um modelo formal ordinário. As **regras X** variam o conjunto G, da mesma forma que  $\theta$ . Entretanto, ao contrário de  $\theta$ , que apenas deduz fatos que já se encontram implicitamente em G, as regras em X permitem a adição de elementos novos e a eliminação de elementos de G. A introdução das regras X no modelo complementa o comportamento de um sistema formal ordinário, dando-lhe uma característica adaptativa, além de permitir que as regras  $\theta$  possam tanto conter SCEs que estão contidas em G a um dado momento como também SCEs que estão ausentes.

As regras X em um modelo semiótico podem ser particionadas em dois subconjuntos,  $X_1$  e  $X_2$ . As regras pertencentes ao subconjunto  $X_1$  são chamadas de internas, e representam as mudanças em G causadas por ações inteligentes. As regras pertencentes ao subgrupo  $X_2$  são chamadas externas, e representam as mudanças em G causadas por fontes externas ao sistema de controle. Estas regras podem ser conhecidas ou desconhecidas. Em particular, as regras  $X_2$  podem ser usadas para especificar os fatos objetivos. A utilização de  $X_2$  pelo sistema pode ser vista como a descoberta de leis que ocorrem no mundo externo.

Conflitos podem existir entre os elementos dos subconjuntos  $X_1$  e  $X_2$ . Para resolver estes conflitos, existem regras  $X^*$  de matching que permitem determinar os efeitos de resultados de regras conflitantes sobre G.

As **regras**  $\Xi$  definem mudanças nas regras  $\theta$ , ou seja, expressam o problema da adaptação do sistema ao meio externo especificado. Finalmente, as **regras**  $\Omega$  fixam as mudanças nas regras H, ou seja, expressam mudanças na sintaxe do sistema semiótico. Este comportamento pode ser entendido como a translação dos fatos de um sistema de representação para outro, implementando um processo de recodificação [POSPELOV 1991].

A Figura 4.2 mostra as interações entre os componentes de um modelo semiótico.

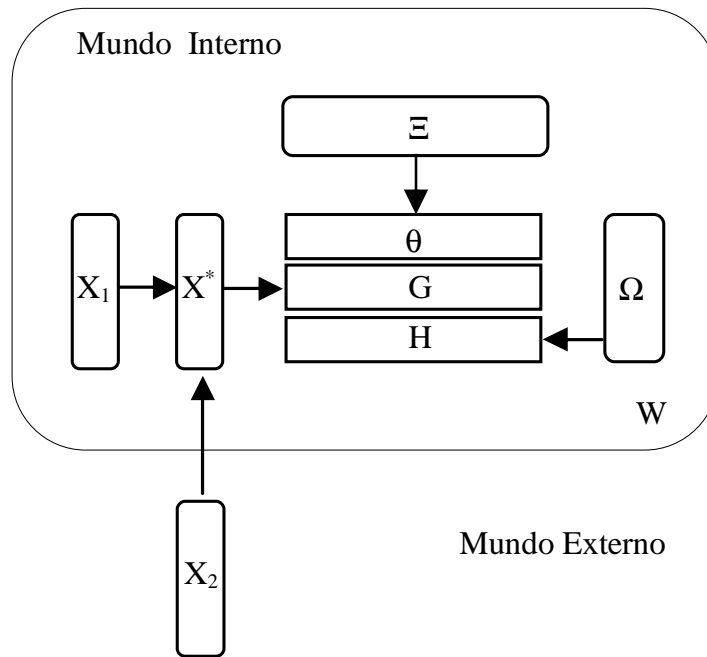


Figura 4-2 - Modelo Semiótico

### 4.3 Fundamentos de Controle Situacional

Sistemas abertos complexos de grande porte (SACGP) são sistemas em que não é possível o conhecimento a priori de um modelo exato que descreva todo o comportamento do sistema. Isso decorre devido a uma série de características envolvendo o sistema sendo controlado, tais como [POSPELOV 1991]:

- **Particularidades únicas** - cada parte do sistema possui estruturas e funções que são únicas e não permitem uma generalização com relação a ações de controle
- **Falta de um propósito formalizável de existência** - não é claro o propósito que mantém o sistema funcionando enquanto sistema
- **Ausência de otimalidade** - não é possível se formalizar um problema de otimização com relação ao sistema em questão
- **Comportamento variável** - o sistema possui estruturas que estão em constante mudança de comportamento, de forma não periódica
- **Descrição incompleta** - o conhecimento que se tem sobre o sistema não o descreve por inteiro; existem partes do sistema que são desconhecidas e de comportamento imprevisível
- **Presença de livre-arbítrio** - partes do sistema podem tomar decisões independentes e autônomas, que fogem a qualquer tipo de modelagem

Para poder dar conta de características como essas, o controle situacional adota métodos adaptativos, baseados em modelos generalizados da estrutura e operação do sistema controlado, que vão sendo modificados ao longo do funcionamento do sistema, sendo que seu desempenho final é obtido ao longo da operação do sistema.

Em SACGPs, o número de situações específicas (microdescrições) envolvendo o estado do sistema pode ser muito grande. Uma descrição detalhada de todas estas situações nem sempre é relevante para os objetivos de controle. Na verdade, vemos que o número de decisões de controle diferentes usadas em

qualquer situação particular é muito pequeno. Ou seja, uma característica de tais sistemas é o alta cardinalidade do conjunto de situações específicas descrevendo o problema versus a baixa cardinalidade do conjunto de decisões possíveis para resolvê-lo. Para resolver o problema de controle, devemos então particionar o conjunto de situações específicas de tal forma que para cada decisão possível esteja associado um conjunto de situações possíveis. Dentro de tal observação, o problema de controle pode ser considerado equivalente ao reconhecimento de padrões, ou classificação das microdescrições em termos de um conjunto de propriedades desconhecidas a priori. Em geral, não é factível resolvermos esse problema de partição de um conjunto de situações específicas de acordo com as decisões de controle, dado o imenso número de situações específicas que pode existir na prática. No entanto, é possível tentarmos descrever as situações envolvendo o sistema de uma maneira mais generalizada, passando de uma microdescrição de suas operações para uma macrodescrição aproximada. Na transição para a macrodescrição, deve-se levar em conta uma diminuição na eficiência do controle como consequência da perda de informações sobre a operação do objeto controlado existente no micronível. Um exemplo da consideração de uma macrodescrição de um sistema ao invés de sua microdescrição ocorre, por exemplo, quando queremos estudar um sistema como o do movimento de carros ao longo de uma estrada. Ao invés de adotarmos uma microdescrição, que levaria em conta cada carro individualmente como sendo um componente do sistema, adotamos uma macrodescrição que considera somente o fluxo de carros na rodovia, na forma de um fluxo de fluido incompressível contínuo [POSPELOV ET.AL. 1970].

#### **4.4 Rede de Situações Discretas (DSN)**

Como visto anteriormente, uma DSN é um modelo para um sistema a eventos discretos. Especificamente, Pospelov define uma DSN como um grafo composto por vértices de três tipos diferentes:

1. vértices do tipo fonte,
2. vértices do tipo sorvedouro,
3. vértices do tipo decisão.

Cada um destes vértices é modelado formalmente como um autômato, ou seja, possui um conjunto de estados internos, entradas e saídas. As entradas comandam a transição entre estados do autômato. A cada transição, o autômato pode gerar uma saída correspondente. Vértices do tipo fonte só possuem saídas e vértices do tipo sorvedouro só possuem entradas. Vértices do tipo decisão possuem tanto entradas como saídas. Os arcos conectando os vértices orientam uma conexão entre os autômatos, de tal forma que as saídas de alguns vértices acabam por corresponder à entrada de outros vértices, acabando por determinar uma rede de autômatos. Os elementos que funcionam como entradas e saídas dos autômatos são chamados de objetos, sendo representados por ênuplas n-árias, que codificam informações sobre os objetos do mundo real que lhe são análogos. Os elementos dessas ênuplas podem conter informações que podem alterar o comportamento do autômato, principalmente informações do tipo temporal. De certa forma, podemos portanto enxergar uma rede situacional discreta como se objetos de um certo tipo

pudessem mover-se em tempo discreto, de vértice a vértice. Os objetos podem se encontrar localizados nos vértices, ou em posições marcadas na rede e, quando instantes de tempo discreto mudam, os objetos se movem de um vértice para outro. A operação de cada tipo de vértice é descrita como a seguir:

1. os vértices chamados fontes geram objetos de acordo com uma lei determinística ou probabilística, que passam então a mover-se ao longo da rede;
2. nos vértices chamados sorvedouros, os objetos desaparecem;
3. os vértices chamados decisões podem mover ou transformar os objetos. Tais vértices podem ser de dois tipos: passivos ou ativos. Qualquer objeto no elemento de decisão passivo não muda suas características, sendo somente movido adiante depois de um atraso temporal, enquanto que nos elementos de decisão ativos, alguns dos objetos podem mudar suas características.

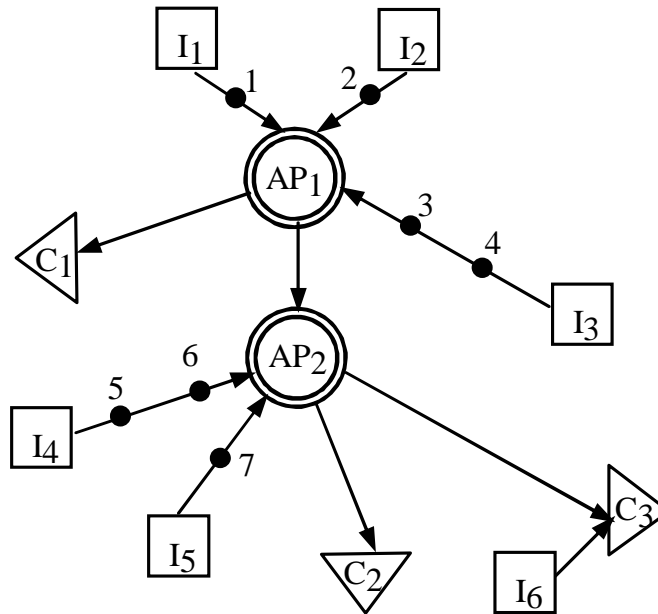
Tomando, em um certo instante de tempo, uma “fotografia instantânea” das posições de todos os objetos na rede, obtemos o que é chamado de uma **situação** na DSN. A operação de uma DSN pode portanto ser representada como uma mudança de situações ao longo do tempo. O caráter desta mudança é determinado pelas leis de operação dos vértices da DSN. Mais detalhes sobre a formalização de uma DSN podem ser encontrados em [POSPELOV ET.AL. 1970].

Pospelov define uma representação gráfica para uma DSN (e.g. - figura 4.3), onde:

- os vértices I do tipo fonte são apresentados como quadrados,
- os vértices P do tipo decisão-passivo como círculos,
- os vértices AP do tipo decisão-ativo como círculos duplos, e
- os vértices C do tipo sorvedouros como triângulos.

Além destes, Pospelov ainda define um outro tipo de vértice ao qual chama de posição, que seria um tipo de vértice do tipo decisão-passivo simplificado, onde um objeto permaneceria inerte exatamente por um período de tempo. Posições são representadas como pequenos pontos pretos. Um exemplo de controle de tráfego numa área de uma cidade incluindo dois cruzamentos, e diversas vias de acesso, seguindo esta convenção gráfica, é mostrada na figura 3. Nela,  $I_1$ ,  $I_2$ , e  $I_3$  representam três vias de acesso que alcançam um primeiro cruzamento controlado por um semáforo  $AP_1$ . Este, faz conexão com uma via de acesso  $C_1$  e com um segundo cruzamento controlado pelo semáforo  $AP_2$ . Este, por sua vez, é alcançado pelas vias de acesso  $I_4$  e  $I_5$ , e também faz conexão com  $C_2$  e  $C_3$ . A via de acesso  $I_6$  tem acesso direto à via de acesso  $C_3$  sem passar por qualquer dos cruzamentos controlados. Além destes vértices, 7 posições são distribuídas ao longo da rede. Elas correspondem a certas seções nas principais vias de acesso onde os carros estão localizados. Os objetos circulando na rede corresponderão aos carros. Em vez de um fluxo contínuo de carros, como acontece na realidade, os objetos correspondentes aos carros na DSN, movem-se discretamente na rede. Para os segmentos sem posição, o movimento ocorre num único ciclo da DSN [POSPELOV 1991].





**Figura 4-3 - Rede Situacional Discreta**

Uma DSN não somente disponibiliza a estrutura e operações suportadas pelo objeto de controle, como também é adequada para a maioria dos problema de controle de sistemas complexos, tais como, sincronização, transmissão, alocação, distribuição, e otimização de recursos e processos na engenharia de transporte, de transmissão, de comunicação, de informação, de qualidade, etc.

## 4.5 Linguagem de Controle Situacional

Como também dissemos anteriormente, é possível representarmos as situações descritas em uma DSN através de expressões de uma SCL. Assim, as expressões linguísticas da SCL estão associadas não ao sistema do mundo real sendo controlado, mas a seu modelo equivalente no DSN. Assim, dizemos que a DSN é o instrumento que disponibiliza a estrutura e as operações suportadas pelo objeto controlado. As situações do DSN serão agora descritas na forma de microdescrições, que serão em seguida convertidas para sentenças da SCL. A microdescrição de uma situação é representada como um multigrafo cujos vértices determinam conceitos elementares  $a_i$ , e cujos arcos determinam relações binárias  $r_k$ , dizendo respeito à situação do DSN em um determinado instante de tempo. A presença de um arco (denotado por  $r_k$ ) ligando  $a_i$  e  $a_j$  significa que o conceito  $a_i$  e  $a_j$  estão numa relação  $r_k$ . Uma microdescrição, neste caso, corresponde a um conjunto formado por todas as triplas da forma  $\langle a_i, r_k, a_j \rangle$  necessárias à descrição das situações formadas no objeto de controle.

### 4.5.1 Microdescrição

Para uma melhor compreensão do emprego das SCL no controle situacional, vamos analisar um exemplo ocorrendo em um cruzamento de duas vias controlado por semáforo e verificar como podemos derivar uma microdescrição a partir de uma situação do DSN. Suponhamos a seguinte situação: dois carros com velocidades 20 e 60 km/h próximos do cruzamento pela esquerda, sendo que um deles estando na seção colada ao cruzamento, enquanto que o outro está logo atrás dele. À direita do

cruzamento localiza-se um carro distante com prioridade a uma velocidade de 90 km/h. O sinal verde está aberto na direção horizontal. Um carro sem prioridade está próximo abaixo do cruzamento a uma velocidade de 30 km/h, enquanto que nenhum outro carro com prioridade espera pelo sinal verde. Vejamos como formalizar um multigrafo, nesta situação específica:

Seja  $\Pi = \{\langle \pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4 \rangle\}$ , um conjunto de ênuplas  $\langle \pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4 \rangle$ , onde  $\pi_i \in \Pi_i$  e

$\Pi_1 = \{\lambda, \text{com-prioridade, sem-prioridade}\};$

$\Pi_2 = \{\lambda, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100\};$

$\Pi_3 = \{\lambda, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\};$

$\Pi_4 = \{\lambda, \text{vermelho, amarelo, verde}\}.$

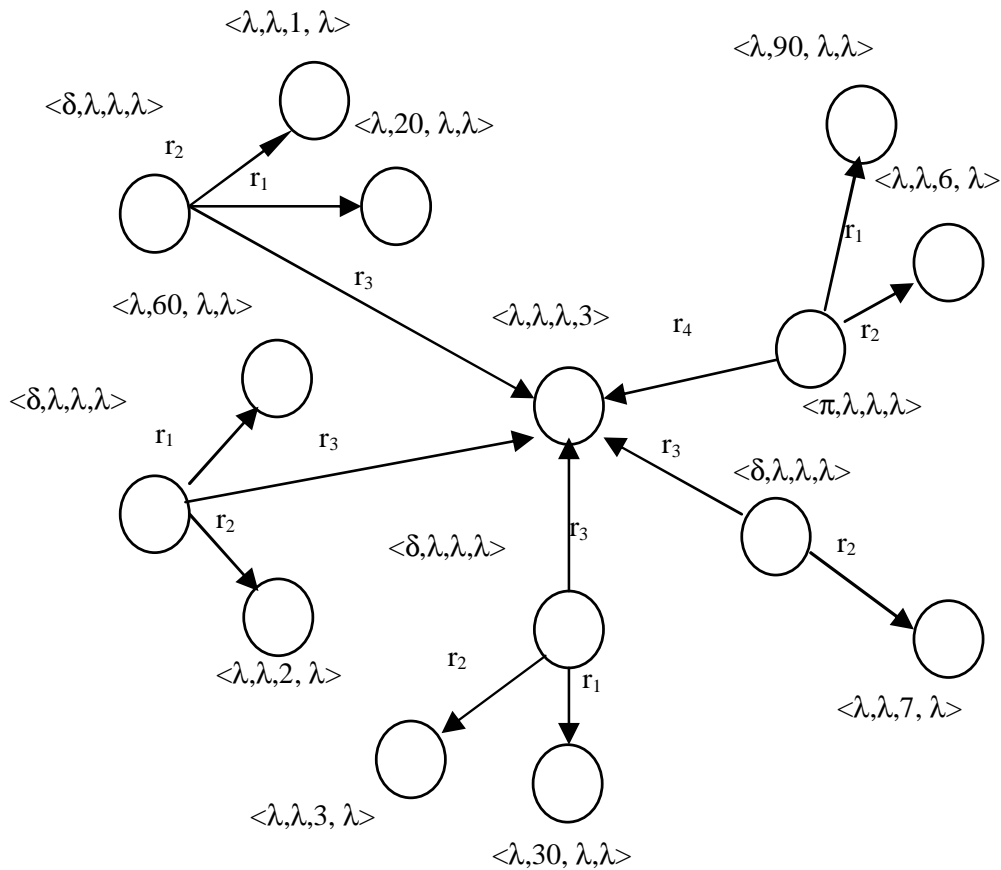
Cada ênupla  $\langle \pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4 \rangle$  corresponderá à representação de um conceito elementar  $a_i$ , onde o valor  $\lambda$  atribuído a  $\pi_i$  corresponde a um valor nulo, ou seja, sem significado. Como convenção, é assumido que se existe um  $\pi_i$  cujo valor é distinto de  $\lambda$ , todas as outras características da ênupla terão o valor  $\lambda$ . Todas as características não podem assumir simultaneamente o valor  $\lambda$ . Assim, a semântica das relações básicas é fixada como a seguir:

$\langle \pi_1, \lambda, \lambda, \lambda \rangle$  significa um “carro”,  
 $\langle \lambda, \pi_2, \lambda, \lambda \rangle$  significa “velocidade”,  
 $\langle \lambda, \lambda, \pi_3, \lambda \rangle$  significa “seção”, e  
 $\langle \lambda, \lambda, \lambda, \pi_4 \rangle$  significa “sinal do semáforo”

Assim, um carro é determinado somente pelo seu tipo, i.e., como tendo uma prioridade, uma velocidade, um sinal do semáforo numa certa direção fixada (por exemplo, vertical, horizontal). Seja  $R = \{r_1, r_2, r_3, r_4\}$ . A semântica de  $r_k$  é fixada como a seguir:

$r_1$  significa “ter”,  
 $r_2$  significa “localiza-se”,  
 $r_3$  significa “próximo”, e  
 $r_4$  significa “distante”

A figura 4.4 a seguir apresenta uma microdescrição da situação descrita anteriormente, onde cada conceito é representado por um nó e as relações são representadas por arcos.



**Figura 4-4 - Multigrafo com a Microdescrição da Situação-Exemplo**

Observe que a microdescrição da figura 4.4 pode ser igualmente representada na forma de um conjunto de sentenças na SCL envolvendo as relações e os conceitos elementares descritos.

As microdescrições de situações como a descrita com o auxílio de  $\Pi$  e  $R$  formam o *primeiro nível* de um modelo situacional, onde cada situação é uma “fotografia instantânea” do estado do objeto controlado em um dado instante de tempo.

Com o passar do tempo, o primeiro nível de um modelo situacional é complementado por diversas microdescrições de situações identificadas no objeto controlado. Para que sejam descobertas novas relações essenciais entre essas situações, um *segundo nível* do modelo situacional é disparado, i.e., o *nível das hipóteses*. A cada instante uma fotografia instantânea de uma situação, i.e., um multigrafo do primeiro nível é enviado ao nível das hipóteses. Após decorrido um tempo  $T$  de iterações, os pesos de todas as conexões são comparados (com um limiar  $v$ ) no nível das hipóteses, e então, todas as conexões que têm um valor maior que o limiar  $v$  são transmitidos para um *terceiro nível* do modelo situacional. Dessa forma, novas relações como “causa-efeito”, “parte-todo”, “atividade-meta”, etc., são obtidas. Essas relações são estabelecidas pela análise dos multigrafos no primeiro nível sob o ponto de vista de suas estruturas e dinâmica de variação no tempo. Por exemplo, se  $a_k r_2 a_m$  sempre implica, após certo intervalo de tempo, na relação  $a_r r_2 a_m$ , onde  $r_2$  é uma relação com a semântica de “localizado a” e  $a_m$  tem a

semântica de “seção”, a relação  $a_i r^{***} a_j$  é obtida na qual  $r^{***}$  tem a semântica de “causa-efeito” [POSPELOV ET.AL. 1970].

#### 4.5.2 **Macrodescrição**

As macrodescrições são construídas usando-se quatro operações:

- Generalização,
- Abstração,
- Associação, e
- Truncamento.

Para construir uma quarto nível de descrição generalizada são usados o primeiro e o segundo nível. Um exemplo de generalização é um exemplo de ocorrência de conceitos com a semântica de “qualquer carro” obtida pela união de todos os conceitos com a semântica “carro”. Um outro exemplo possível é a obtenção do conceito com a semântica de “coluna de carros” por especificar entre eles as relações “move para frente” com respeito a um e mesmo conceito, por exemplo, “semáforo”.

A operação de abstração é análoga, com a diferença que na união de conceitos em um conceito generalizado, uma parte das conexões são abstraídas antecipadamente. É possível, obter, por exemplo, conceitos generalizados como “objetos em movimento”. Deste modo é obtido ao *quarto nível* uma descrição em conceitos e relações generalizadas. O processo de generalização pode continuar chegando a um *quinto* e subsequentes níveis do modelo situacional. Todos os níveis, começando com o quarto nível, são denominados níveis de classificação, e as conexões entre os níveis representam o processo de generalização. A generalização continua até que o número de descrições generalizadas correspondam ao número de decisões sobre o objeto controlado.

Um modelo situacional tem duas propriedades importantes: a possibilidade de excitação de baixo para cima, e de cima para baixo. No primeiro caso, a ocorrência de uma situação ao primeiro nível (de microdescrição) é acompanhada a todos os níveis de classificação por excitação de situações generalizadas que aparecem como um resultado de uma série de situações contendo as situações dadas, ou (o que é mais importante) uma situação do mesmo tipo. No segundo caso, a excitação de qualquer descrição generalizada a qualquer nível causará o aparecimento, no primeiro nível, de uma situação (não determinada unicamente) que corresponde à situação generalizada excitada.

Um modelo situacional opera em dois estágios. No primeiro, informações sobre o objeto controlado são armazenadas, um modelo de situações generalizadas é construído, e regras de operação são estabelecidas. No segundo, o modelo treinado opera independentemente, estando apto, pela análise dos resultados de suas operações, a proceder ao aperfeiçoamento de seu desempenho [POSPELOV ET.AL. 1970].

## 4.6 **Conhecimento Semiótico**

A microdescrição de conceitos elementares por meio de ênuplas, como no exemplo anterior, é apenas uma descrição simplificada. Pospelov descreve um modelo bem mais elaborado para a construção de microdescrições utilizando signos. Por meio do uso de signos, pode-se construir uma base de conhecimento semiótico (KS) que envolve uma descrição bem mais acurada das situações. Uma das

principais características do controle situacional, envolvendo uma base de conhecimento semiótico, em um sistema de controle inteligente, é a flexibilidade obtida na representação das situações que ocorrem no objeto de controle, dando origem a um modelo de conhecimento reconstrutível, característica imposta pela natureza do processo sógnico, que está em permanente auto-organização, por processos de auto-interpretação, visando capturar acuradamente o comportamento atual do objeto de controle.

O uso de uma base de conhecimento semiótico na forma de signos permite o particionamento deste conhecimento em diferentes modalidades, dependendo da parte da situação que este modela. Este particionamento acaba resultando na diferenciação e criação de diversas sub-linguagens:

- linguagens de descrição de situações (SCL),
- linguagem de descrição de conhecimento sobre o objeto de controle (DSC)
- linguagens para leis de transformações (LTR),
- linguagem para descrição dos objetivos do sistema de controle (textos, mapas, fórmulas, etc.).

Essa organização, fragmenta todo o conhecimento semiótico do sistema em regiões separadas, possivelmente, sobrepostas, chamadas *esferas*, onde cada *esfera* contém conhecimentos para os quais existe um fecho semântico, pragmático, ou situacional. Cada fato, armazenado na memória do sistema de controle, contém informações sobre as esferas a que pertence. Em outras palavras, uma KS apresenta uma organização hierárquica, multidimensional, e multiresolucional, cujos elementos são fragmentos de redes semióticas (FSN) denominados esferas [POSPELOV 1991; POSPELOV & OSIPOV 1997].

Uma KS, na sua forma mais simples, é um agregado de signos, relações e operações de transformações. Nela, uma composição da relação  $n$ -ária  $R_1$  e da relação  $k$ -ária  $R_2$  é uma relação  $n+k+1$ -ária  $R_3$ , tal que, cada uma de suas ênuplas é composta por ênuplas de relações  $R_1$  e  $R_2$ , de forma que o  $n$ -ésimo elemento da primeira  $n$ -ênupla seja igual ao primeiro elemento da segunda  $k$ -ênupla. Um signo, como uma unidade elementar numa KS, pode ser representado como mostrado na figura 5. É uma unidade mental, associada a um objeto no mundo real, formada por quatro constituintes:

- (1) *nomes*, para o propósito de identificação, acesso e uso por outros signos,
- (2) *conceitos*, informações cognitivas, associadas com as imagens mentais, obtidos por processos de mediação, tais como, generalização, abstração, etc.,
- (3) *imagens*, informações perceptuais, obtidas através de observações, experiências, etc., e
- (4) *ações*, informações pragmáticas, hábitos de comportamento, etc., quando da interação com outros signos ou eventos observáveis.

Na maioria dos casos práticos, essas descrições sobre os signos são incompletas. Descrições que dispõem somente de nomes e conceitos são denominadas de redes semióticas intensionais, e as que dispõem somente das imagens e ações são denominadas redes semiótica extensionais. Uma rede extensional descreve os signos com uma dada interpretação enquanto que uma rede intensional não tem uma interpretação pré-definida. Por essas razões, uma rede extensional, por referir-se a um mundo mental em particular, pode ser chamada de um modelo do mundo, enquanto uma rede intensional, por referir-se a um conjunto

de mundo mentais, pode ser chamada de modelo do conhecimento, onde cada mundo mental reflete uma visão particular do mundo real. Um sistema que mantém uma rede de conhecimento intensional e uma rede de conhecimento extensional, e os relacionamentos existentes entre eles, é denominado rede de conhecimento semiótico. Dentre as operações definidas para uma FSN (uma rede cujos nós são signos, e cujos arcos definem várias relações existentes entre os signos, ou seus componentes), algumas operações elementares são: *pattern matching*, *união*, *interseção*, *inserção*, *remoção*, *semelhança*, *diferença*, etc. Uma KSN é uma base de conhecimento hierárquica, multidimensional e multiresolucional de FSNs, denominadas esferas, ou regiões de conhecimento semântico, pragmático, ou situacional [POSPELOV 1991; POSPELOV & OSIPOV 1997].

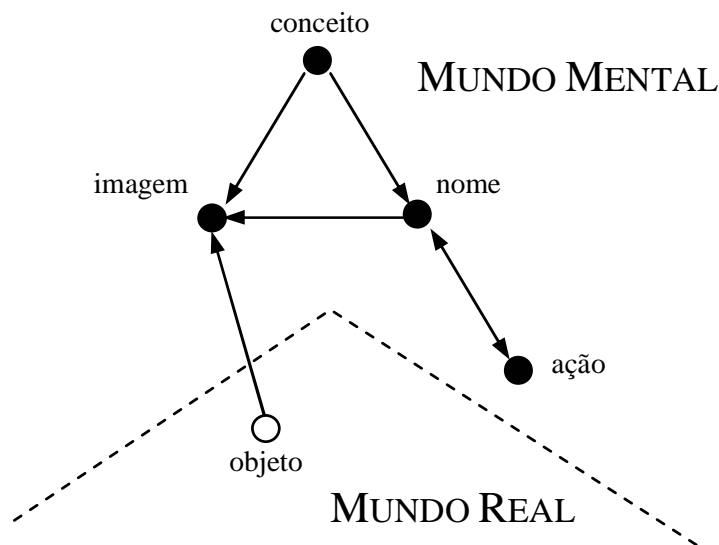


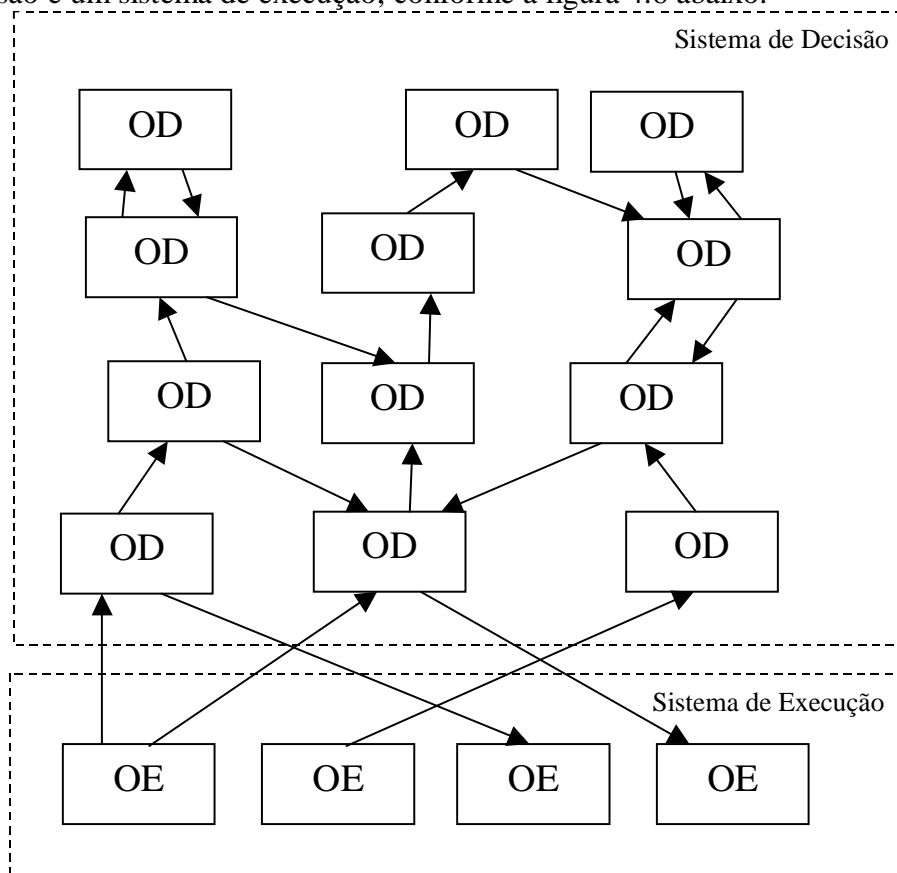
Figura 4-5 - Elementos Constituintes do Signo

## 4.7 Resolvedores Semióticos

Para se passar de microdescrições para macrodescrições, ou ainda de macrodescrições de um certo nível para uma macrodescrição de um nível superior, é necessário que apliquemos algum tipo de operação nos elementos da base de conhecimento semiótico. Esta tarefa é realizada pelos chamados resolvedores semióticos (RS). Podemos compreender um resolvedor semiótico, portanto, como uma instância do Modelo Semiótico visto na seção 4.2, quando aplicado em problemas de planejamento de atividades, ou geração de comportamento de sistemas inteligentes artificiais.

Um sistema de planejamento de atividades que tenha por base um modelo semiótico, trata do problema da inferência de um fato específico (incluído em G) a partir de um grupo de fatos, especificado com o auxílio das regras  $\theta$  e  $\Omega$ . Em casos particulares (que seriam os sistemas especialistas, conforme a inteligência artificial clássica), um RS pode operar em condições de regras  $\theta$  invariantes e de conjuntos H e G especificados, i.e., sob condições específicas de um sistema formal dedutivo. Entretanto, como ressaltamos no início deste texto, a força de um RS não está aqui, mas na habilidade de modificar seu comportamento por meio de adaptação e aprendizagem.

Um RS consiste de dois sistemas interagindo mutuamente: um sistema de decisão e um sistema de execução, conforme a figura 4.6 abaixo.

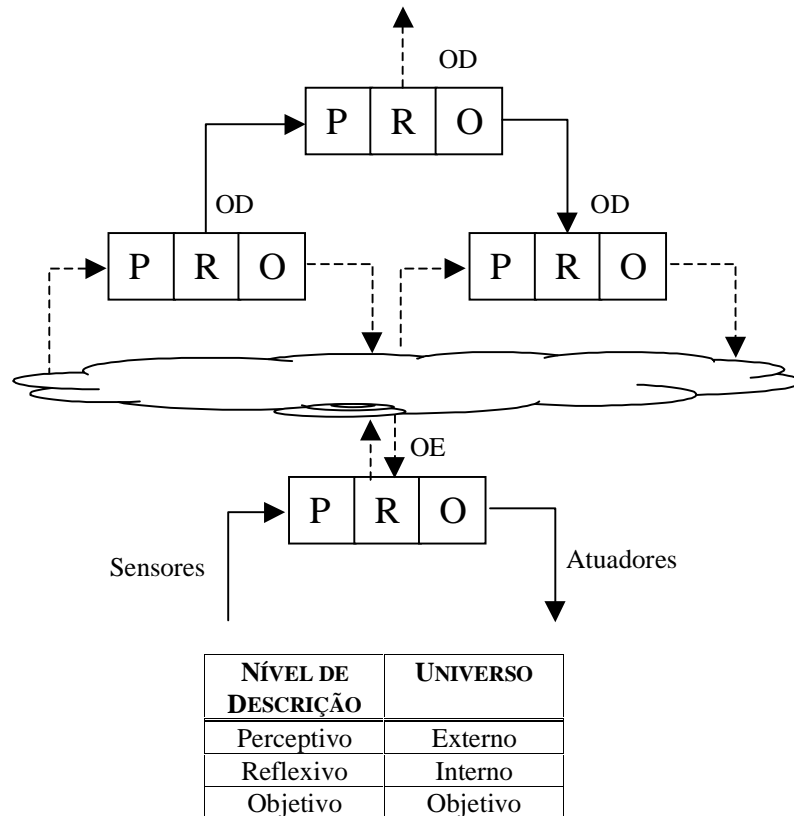


**Figura 4-6 - Resolvedor Semiótico**

Os elementos do sistema de decisão são os **órgãos de decisão** (OD) que formam uma hierarquia de  $n$  camadas de acordo com a estrutura de controle. Os elementos do sistema de execução são os **órgãos de execução** (OE). Os OD organizam-se de baixo para cima. De forma que, os ODs da primeira camada têm autoridade sobre os OEs. Todos os ODs restantes lidam somente com seus ODs subalternos. A função de um sistema de decisão é realizar buscas efetivas de soluções no espaço de problemas, enquanto que a função de um sistema de execução, é estimar uma decisão obtida segundo o modelo de um universo subalterno, e deliberar as informações corretivas para o sistema de decisão, se necessário.

Os problemas resolvidos por cada OD são denominados locais e os resolvidos por um sistema de ODs são denominados globais. Para a solução de um problema local é assumido que as descrições dos dados iniciais, das condições e das soluções elementares foram especificadas, e sua solução é expressa na forma de uma cadeia causa-efeito de soluções elementares.

Cada OD lida com três universos: *externo*, *interno* e *objetivo*, para os quais constroem-se os níveis de descrição *perceptivo*, *reflexivo* e *objetivo*, conforme mostra a figura 4.7.



**Figura 4-7 - Operações entre Níveis Distintos**

O universo externo de um OE envolve conhecimentos de caráter perceptivo, obtidos a partir dos sensores. Este conhecimento é eventualmente transformado internamente em conhecimento reflexivo (referente ao universo interno) e posteriormente em conhecimento objetivo (referente ao universo objetivo), dando origem a sinais de controle enviados aos atuadores.

Os conhecimentos reflexivos de um OE são enviados a um OD de primeiro nível, passando a constituir seu conhecimento perceptivo (ou seja, o universo interno do OE é equivalente ao universo externo do OD). Este conhecimento é então trabalhado pelo OD, dando origem a um conhecimento reflexivo (referente a seu universo interno) e posteriormente a um conhecimento objetivo (referente a seu universo objetivo). O universo objetivo de um OD de primeiro nível possui um conhecimento objetivo que representa basicamente as possíveis operações sobre o OE a ele subordinado, além das leis que governam o objeto de controle, e situações iniciais e finais relativas a este. Estes conhecimentos serão equivalentes ao conhecimento reflexivo do OE, que serão posteriormente convertidos em conhecimentos objetivos referentes a comandos de atuação. Estes comandos de alguma forma encontrarão um fecho semântico no próprio ambiente de controle, refletindo nos sinais dos sensores em tempos futuros, fechando um ciclo de semiose.

Desta forma, um OD de primeiro nível trata do universo objetivo, como um universo de problemas perceptivos no futuro (pois suas decisões irão implicar em futuras percepções).

O universo interno de um OD de primeiro nível é um universo de problemas reflexivos, descrito ao nível de condições de problemas locais e representando principalmente as estruturas legadas por seus conhecimentos perceptivos.



Os universos de um OD do  $i$ -ésimo nível ( $i > 1$ ) são definidos analogamente, a única diferença é que o universo objetivo deste OD é o universo de problemas reflexivos do  $(i-1)$ -ésimo nível, e corresponde a transições de representações extensionais.

Quando da resolução de um problema global, cada OD resolve seu problema local no seu próprio nível (em seqüência, dos níveis de cima para baixo) e a solução obtida por este OD aparece como uma prescrição para a solução de problemas locais para todos os OD subordinados abaixo, até o OD de primeiro nível. A solução de um problema global é ultimamente representado na forma de uma solução composta de todos os problemas perceptivos do primeiro nível e o procedimento de pesquisa é representado na forma de uma hierarquia de procedimentos de pesquisa mutuamente enlaçados para a solução de problemas locais em diversos níveis. Se necessário, as soluções compostas são corrigidas com ajuda do sistema de execução. Soluções compostas estimadas e corrigidas são planos coordenados de operações do sistema de execução no ambiente externo.

Formalmente um resolvidor semiótico é definido como a seguinte héptupla:

$$A = \langle R, \Phi, M, N, Q, P, V \rangle,$$

onde  $R$  é a estrutura de controle do RS que determina a subordinação direta de ODs e OEs,  $\Phi$  é o modelo intensional do universo objetivo que é especificado pelo conjunto de programas  $\varphi \in \Phi$  que imitam as operações do sistema de execução, e as leis que governam o objeto de controle,  $M$  é o modelo do universo externo do RS que inclui um conjunto de descrições de soluções elementares de problemas perceptivos para cada OD e tradução de programas de  $\Omega$  (o modelo  $M$  reflete o modelo  $\Phi$  sobre o nível extensional e traduz as descrições de situações iniciais e finais em descrições de dados iniciais e resultados requeridos de problemas perceptivos),  $N$  é o modelo do universo interno do RS que inclui um conjunto de universos de estruturas de problemas perceptivos para cada OD (as estruturas jogam simultaneamente o papel de soluções elementares de problemas reflexivos) e correspondem a tradução de programas de  $\Omega$  (o modelo  $N$  estende o modelo  $M$  sobre um nível reflexivo e traduz as descrições de problemas perceptivos em descrições das estruturas correspondentes, e vice versa),  $Q$  é um algoritmo de estratégia de pesquisa complexa dos planos de ação do sistema de execução,  $P$  é o espaço global de problemas, e  $V$  é o espaço de planos produzidos como saída do RS [POSPELOV ET.AL. 1977].

Um MS aplicado ao problema de geração de planos, ou seja, um RS, resulta da aplicação de uma estratégia generalizada de integração dos métodos de resolução de problemas (I-problemas), de decomposição de problemas em espaços de estados (SS-problemas) e de redução de problemas em espaços de problemas (PR-problemas), resultado da interação cíclica entre três estruturas formais, sobre as quais diferentes algoritmos podem ser definidos, pelo uso das operações elementares:

- (1) *de seleção*, especificação da estrutura interna do problema,
- (2) *de pesquisa*, busca de um solução para o problema, e

(3) *de treinamento*, análise e proposta de evolução da solução encontrada.

Dessa estratégia de obtenção de estruturas (inferenciais) de alto nível pela interação de um pequeno número de estruturas de baixo nível, surge a natureza hierárquica, multidimensional, e multiresolucional intrínsecas às estruturas duais de conhecimentos e de processos encontrada nos Resolvedores Semióticos [POSPELOV ET.AL. 1977].

## 4.8 Resumo

O controle semiótico, desenvolvido por Pospelov e seus seguidores, constitui-se de uma nova abordagem paradigmática para o controle inteligente de sistemas, que traz muitos resultados e muitas idéias para serem exploradas pela ciência ocidental. Apesar de permanecer desconhecido no ocidente, a abordagem semiótica de Pospelov mostra-se muito eficiente, resolvendo parte dos problemas que a inteligência artificial no ocidente ainda não resolveu. Sua melhor compreensão e utilização por pesquisadores ocidentais, e seu hibridismo com técnicas modernas tais como a lógica fuzzy, as redes neurais e a computação evolutiva poderão trazer subsídios significativos para o estudo dos sistemas inteligentes no futuro.

Neste capítulo, procuramos abordar os aspectos mais relevantes das idéias de Pospelov, fazendo um sumário de quase 30 anos de pesquisa na área de controle semiótico, que se encontra disperso em publicações de difícil acesso no ocidente, e que possui as vezes problemas sérios de tradução. Nosso esforço, além de uma simples coleta de bibliografia, envolveu a busca de uma terminologia comum e coerente, que nem sempre é encontrada nos textos originais, ao mesmo tempo que se busca a fidelidade à idéia original colocada nos textos. Para tal, entendemos que a sumarização das idéias de Pospelov como colocadas neste capítulo possa servir para o leitor como um guia para uma melhor compreensão destas idéias.

# 5. Autognomes: Sistemas Semióticos Pragmáticos

## 5.1 Introdução

Durante mais de quatro décadas nos EUA, Eugene Pendergraft desenvolveu a arquitetura de um sistema que utiliza os princípios da pragmática Peirceana e da semiótica de Morris, o qual denominou de Autognome [PENDERGRAFT 1991, AUTOGNOMICS 1997, 2001]. Para compreendermos melhor as origens do Autognome (e sua relevância), é necessário que relatemos alguns aspectos biográficos de Pendergraft, que contribuíram de maneira marcante para explicar o desenvolvimento da teoria dos Autognomes. Pendergraft integrou, no final da década de 70, a equipe de Marvin Minsky, um dos pioneiros da Inteligência Artificial (IA), passando depois a integrar a equipe de Lehmann, um dos pioneiros na área de tradução mecanizada [LEHMANN, 2001]. Desde essa época, Pendergraft desenvolvia seus estudos de pragmática, principalmente fazendo uma leitura de John Dewey e Peirce, conseguindo com sucesso o primeiro resultado de semiose mecanizada em um experimento realizado no departamento de lingüística de Universidade do Texas [LENHMANN E PENDERGRAFT, 1967]. Esse experimento deu origem a um sistema de tradução de linguagens comercial denominado METAL, que é um acrônimo para *Metalinguagem*.

Ao levar adiante seu projeto de implementação de um sistema inteligente baseado na filosofia pragmática de Peirce, Pendergraft especificou e desenvolveu parte do que é hoje conhecido como a teoria dos Autognomes. Uma de suas principais características é o uso daquilo que Pendergraft chama de um sistema formal de atos ligados probabilisticamente. Este nome - “sistema formal de atos” foi utilizado, segundo Pendergraft, por sugestão da epistemologia pragmática. Uma outra característica é o emprego nesse modelo do conceito de sistema de segunda ordem, para denotar regras meta-lingüísticas usadas na manipulação de regras de uma linguagem-objeto especificada em lógica de primeira ordem.

Apesar de sua originalidade, o trabalho de Pendergraft é ainda desconhecido nos meios científicos, mesmo nos EUA. Isso ocorreu particularmente porque seu desenvolvimento se deu dentro do ambiente empresarial, onde o sigilo tecnológico assim o exigia, e porque a morte prematura de Pendergraft acabou interrompendo o desenvolvimento experimental de sua teoria, deixando seu trabalho ainda aberto sob

certos aspectos, e com pouca mão-de-obra qualificada a levá-lo adiante. O trabalho de Pendergraft em sistemas semióticos pode ser comparado ao trabalho de Pospelov, realizado na Rússia, desde o final da década de 70 [POSPELOV 1991], que também é desconhecido por grande parte da comunidade científica trabalhando com sistemas inteligentes, apesar de sua expressividade. Mas além do fato de serem desconhecidos, ambos os trabalhos têm em comum a concepção de um modelo semiótico, que no caso de Pospelov, é uma rede de sistemas formais ligados pragmaticamente, isto é, ligados pela experiência [POSPELOV, 1991; EHRLICH, 1997; PRUEITT, 1999].

No paradigma semiótico, ao contrário de paradigmas anteriores na área de sistemas inteligentes, o conceito de uma inteligência programada é abandonado em favor de um modelo de inteligência semiótica que constrói sua própria experiência, por métodos de classificação e organização de suas percepções, em um sistema de signos.

Neste capítulo, esboçamos uma visão do modelo semiótico de Pendergraft, apresentado como um sistema de atos ligados probabilisticamente e uma visão do modelo e arquitetura de seus Autogrames. Estes, aprendendo a partir de sua própria experiência, segundo as idéias de Peirce [PEIRCE 1934; PEIRCE 1995; LISKA 1990, 1996; MERREL, 1996; SANTAELLA, 1992, 1993, 1995; TABORSKY. 1998], constituem a proposta de Pendergraft para um sistema semiótico pragmático.

## 5.2 Filosofia dos Atos

O principal insight de Peirce sobre a filosofia matemática do ato, pode ser traçado através da sua lógica da continuidade, que explora os requisitos formais de sistemas contínuos, e é usada em seus experimentos envolvendo *continuuns* monádicos, diádicos e poliádicos. Associada à lógica do contínuo e inspirada nos trabalhos sobre o domínio dos discursos de De Morgan, Peirce desenvolveu a sua **lógica dos relativos**, que juntas fornecem o suporte formal para a teoria das categorias universais [PENDERGRAFT, 1993].

A lógica da continuidade peirceana assume, primeiro, que partes de um *contínuum* são diferentes do todo. Segundo, por sugestão de Kant, que todas as partes de um *contínuum* são do mesmo tipo. Terceiro, que todas as partes de um *contínuum* são ocorrências diferentes, isto é, não ocorrem duas vezes. Quarto, que os modos de conexões entre todas as sub-coleções de partes de um *contínuum* seguem os mesmos princípios. E assim, conseqüentemente, um *contínuum* é contínuo. Podemos dizer que em decorrência da teoria das categorias universais de Peirce, as condições acima expressas por sua lógica da continuidade podem ser aplicadas respectivamente a um, dois ou a uma pluralidade de três ou mais correlatos.

A lógica dos relativos Peirceana argumenta, que os modos de conectivos possíveis são o modo monádico (não relativo), o modo diádico ligando dois objetos, ou o modo poliádico (ou plural), conectando três ou mais objetos. Entre esses três modos possíveis, existem justamente três modos de conectivos indecomponíveis logicamente distintos, com os quais podemos falar, raciocinar ou pensar acerca de algo. Podemos dizer que em decorrência da teoria das categorias universais, somente podemos falar, raciocinar ou pensar acerca de algo através de três modos de conexão: o monádico, o diádico e o triádico, onde cada relacionamento triádico envolve três relacionamentos diádicos e três caracteres

monádicos, cada relacionamento diádico envolve dois caracteres monádicos, mas um caractere monádico não envolve nada diádico ou triádico e, nem um relacionamento diádico envolve qualquer coisa triádica.

Pendergraft afirma que o pragmatismo Peirceano desenvolve a filosofia dos atos. Assim, qualquer sistema sendo mostrado ou formulado segundo os preceitos do pragmatismo Peirceano, é dito ser um "sistema semiótico".

O pragmatismo Peirceano estabelece uma teoria da informação sob o ponto de vista do fenomenalismo, ou seja, em termos de definição de um sistema, seus observáveis e seus estados. Segundo os fundamentos do pragmatismo, os processos de semiose<sup>1</sup>, que dão origem aos signos na construção da nossa experiência, é interativo, auto-corretivo, auto-controlado e auto-gerativo, podendo ser reduzidos aos três elementos apontados acima:

1. O "sistema" que em última instância constitui nosso "contínuum de investigação";
2. Os "observáveis" que em última instância nos são apresentados como as "categorias universais";
3. Os "estados" de nossa consciência que em última instância, e de acordo com Peirce, podem ser:
  - "primeiro, sentimento, a consciência que pode estar inclusa num instante de tempo, a consciência passiva de qualidade, sem reconhecimento ou análise".
  - "segundo, consciência de uma interrupção dentro de um campo de consciência, senso de resistência, de um fato externo, de alguma outra coisa".
  - "terceiro, consciência sintética, ligação no tempo, senso de aprendizagem, pensamento".

Peirce declara que estes estados da consciência guiam nosso objetivo, que em última instância é permanecermos eternos, levando-nos a crer que nosso conhecimento não é absoluto, mas sim um contínuum de incertezas e indeterminações, completamente falível. Declara também, na forma de um princípio teórico, que todas as coisas participam desse contínuum, e que a lógica da continuidade nessa perspectiva, expressa o princípio formal sobre o qual este princípio é construído.

Para Pendergraft, a invenção crucial de Peirce foi estabelecer que os sistemas formais de atos conectados probabilisticamente explicam o contínuum de incertezas e indeterminações inerentes ao nosso conhecimento. [PENDEGRAFT, 1993].

### **5.2.1 Categorias Universais**

Peirce declara que podemos observar três categorias de fatos genéricos diretamente nos elementos que aparecem a qualquer tempo e em qualquer modo à nossa mente (que ele chama de fânerons). A primeira categoria é aquela cujos elementos estão simplesmente em si mesmo, não fazendo referência a qualquer outro. A Segunda categoria é aquela cujos elementos por força de algum outro é um segundo, sem referência a um terceiro. A terceira categoria é aquela cujos

---

<sup>1</sup> ação do signo de gerar outros signos como seus interpretantes

elementos estão sempre mediando outros dois elementos, mantendo-os em relação por seu meio.

A hipótese ontológica do pragmatismo é que existem somente três propriedades sendo contidas na definição do conceito de "fato", e elas correspondem às categorias de primeiridade, secundidade e terceiridade.

As categorias do primeiro, segundo e terceiro são classes genéricas. Uma classe genérica é a totalidade de todos os elementos da experiência que possuem uma propriedade genérica definida. As propriedades: primeiridade, secundidade e terceiridade são as propriedades essenciais das classes genéricas: primeiro, segundo e terceiro, respectivamente.

Uma concepção intelectual é uma concepção exemplificando um tipo genérico, mas somente é genuína na medida que possui os caracteres genéricos essenciais daquela classe. Caso contrário, passa a ser degenerada. Os tipos genéricos são em número de seis:

- Terceiro genuíno;
- Terceiro degenerado diadicamente;
- Terceiro degenerado monadicamente;
- Segundo genuíno;
- Segundo degenerado monadicamente;
- Primeiro genuíno.

Estritamente falando não existe uma definição dada para os tipos genéricos, mas sim descrições de como essas definições podem ser dadas. Estas seis descrições de tipos genéricos podem ser consideradas os axiomas da axiologia científica de Peirce. [PENDERGRAF, 1993].

### **5.2.2 Axiologia Pragmática**

Na formulação de sua axiologia científica Peirce relaciona os seis tipos genéricos a valores e fatos específicos: fatos e valores que são particulares ou singulares. Trata primeiramente das concepções formais, mostrando que os sistemas formais tornam clara a **intensão**<sup>1</sup> de suas definições como axiomas de um dado tipo genérico. Mostrando também, que a realidade do fenômeno em questão compreende a **extensão**<sup>2</sup> daquele tipo de ser. A máxima do pragmatismo Peirceano expressa o método por meio do qual a definição de um tipo genérico deve ser aplicada de forma a manter a sua intensão e extensão em um relacionamento satisfatório. [PENDERGRAFT, 1993].

### **5.2.3 Teoria da Investigação Pragmática**

Peirce utiliza a palavra “substância” para designar o turbilhão de sensações que estão presentes à atenção, em geral. A teoria do pragmatismo é que a aprendizagem, o processo pelo qual os fenômenos do mundo são capturados nessa “substância”, requer três conceitos irredutíveis:

O primeiro é uma "qualidade" ou referência a um fundamento. Aquele que se refere a um fundamento é um "quale".

---

<sup>1</sup> Definição por enumeração de propriedades.

<sup>2</sup> Definição por enumeração de exemplares.

O segundo é uma "relação" ou referência a um "correlato". Aquele que se refere a um fundamento e a um correlato é um "relato".

O terceiro é uma "representação" ou referência a um interpretante. Aquele que se refere a um fundamento, correlato e a um interpretante é um "representâmem".

Peirce declara que a questão do pragmatismo nada mais é que a questão da abdução. A abdução é um método de formar uma predição geral. Ela consiste em estudar fatos surpreendentes e divisar uma teoria para explaná-la.

Nos escritos de Peirce, a axiologia científica aparece sob o nome de "ciências normativas", a ciência formal dos valores cujas divisões são: estética; ética; e lógica.

As regras de axiologia pragmática são sempre expressas no modo quasi-necessário porque elas expressam hipóteses abdutivas como provavelmente necessárias no sentido de explicar nossa situação relativa ao universo de existência. Elas não descrevem como a classificação ou valoração é realizada em uma dada cultura. Elas prescrevem como idealmente uma classificação e valoração deve ser realizada por uma "inteligência científica".

LEI A-1: Na experiência, provavelmente por necessidade, a secundidade deve depender da primeiridade, e a terceiridade deve mediar entre a primeiridade e secundidade.

Esta "lei axiológica" apresenta as condições substantivas necessárias para uma explanação satisfatória. É o princípio perceptual do pragmatismo peirceano que prescreve como os fundamentos para uma explanação científica devem ser selecionados.

Em face deste "princípio perceptual", o termo "tríade" recebe um significado técnico. É uma tripla de conceitos onde o primeiro membro é um "primeiro" (no sentido das categorias), o segundo membro é um "segundo", e o terceiro membro é um "terceiro".

A relação entre fato genérico e específico colocada pela axiologia pragmática pode ser representada como uma tríade, onde cada elemento também é uma tríade. Peirce denomina que a tríade seguinte, obedecendo estas características, é uma tríade perfeita:

((primeiro, segundo, terceiro),  
(qualidade, relação, representação),  
(agregação, infinitude, continuidade)).

Nesta tríade perfeita, os elementos da Segunda tríade dependem respectivamente da primeira e aquelas da terceira tríade mediam respectivamente entre os elementos da primeira e da Segunda. Para este procedimento abductivo, cujo fim é detectar tríades ou tríades perfeitas em um fenômeno, Peirce denomina "análise tri-relativa".

LEI A-2: Na experiência, provavelmente é necessário que a primeiridade deva vir primeiro, secundidade em segundo, e terceiridade em terceiro.

Esta segunda lei axiológica apresenta as condições epistêmicas para a obtenção de uma explanação satisfatória. Ela estipula em quais relações cognitivas se deve representar as premissas. É portanto, o princípio conceitual do pragmatismo

Peirceano, prescrevendo como idealmente uma explanação deve ser construída sobre os fundamentos selecionados para uma investigação científica.

O segundo procedimento abduativo de Peirce foi inspirado na tabela de elementos de Mendeleiev. Grupos formam as colunas verticais enquanto as linhas horizontais formam as séries. Elementos de diferentes séries exibem diferenças físicas marcadas. O comportamento químico daqueles que formam grupos é completamente similar.

Estas tríades perfeitas, obtidas como resultado de uma análise tri-relativa, consiste de tríades análogas a séries químicas:

((primeiro, segundo, terceiro),  
(qualidade, relação, representação),  
(agregação, infinitude, continuidade)).

Estas podem ser transformadas numa outra tríade perfeita cujos constituintes são análogos a grupos químicos:

((primeiro, qualidade, agregação),  
(segundo, relação, infinitude),  
(terceiro, representação, continuidade)).

Na nova tríade perfeita, a primeiridade é um primeiro, a secundidade um segundo e a terceiridade um terceiro. Assim, as tríades estão arranjadas como deveria ocorrer na experiência, uma vez que elas podem ser experimentalmente projetadas para que os tipos genéricos sejam arranjados deste modo.

Este terceiro procedimento abduativo exemplifica um refinamento dos detalhes da hipótese abduativa de Peirce:

((primeiro genuíno, qualidade, agregação),  
(segundo monádicamente degenerado, relação finita, infinitude atual),  
(segundo genuíno, relação infinita, infinitude potencial),  
(terceiro degenerado monádicamente, representação diádica, continuidade monádica),  
(terceiro degenerado diádicamente, representação diádica, continuidade diádica),  
(terceiro genuíno, representação diádica, continuidade triádica)).

O termo classificação tri-relativa refere-se ao segundo e terceiro procedimentos abduativos. O fim do primeiro procedimento classificatório é transformar a tríade resultante da análise tri-relativa numa nova tríade perfeita cujas tríades são arranjadas de modo análogo ao da experiência. O segundo procedimento classificatório Peirceano tem como propósito o desempenho das hipóteses abduativas para os tipos genéricos sendo construídos.

LEI A-3: Na experiência, provavelmente por necessidade a realidade deve ser a mediação do terceiro entre primeiridade e secundidade.

Esta lei axiológica especifica as condições lógicas para se obter uma explanação científica satisfatória, no sentido que a lógica considera os fenômenos de



representação. É o princípio valorativo do pragmatismo Peirceano, prescrevendo de que maneira e grau alguém deve vir a concordar com uma explanação uma vez construída, que considera todo seu uso intelectual e prático. [PENDERGRAFT, 1993].

#### **5.2.4 Sistema Formal de Atos**

Quantidade, no sentido Aristotélico, é algo discreto ou contínuo. Peirce vislumbrou um outro tipo de quantidade: a dos símbolos, e a denominou de "informação". Esta corresponde às quantidades pertencentes a proposições, argumentos e termos, definida como a soma de proposições sintéticas nas quais o símbolo é sujeito ou predicado, antecedente ou conseqüente.

Qualquer proposição contempla somente o estado atual de coisas existindo em um universo lógico ou de discurso. O universo de discurso para uma dada investigação semiótica, no intervalo de possibilidades em consideração, é portanto, para Peirce, um contínuum triádico ou composto lógico de contínuuns triádicos. Tais sistemas são denominados sistemas contínuos triadicamente.

Peirce interpreta como "ato potencial" o fato de três sujeitos, ou correlatos estarem unidos pela aplicação das condições definidas para um contínuum. Os três caracteres envolvidos em um ato são denominados: o "caso"; o "resultado"; e a "regra". Os três relacionamentos que envolvem o ato são suas "fases". A tríade consistindo das fases do ato é uma "interação" ou "ato atual" realizando, ou trazendo para a existência mais ou menos perfeitamente, aquele ato potencial. Por "reinteração" Peirce compreende um processo cíclico em movimento consistindo de atos atuais sucessivos.

Um sistema contínuo triadicamente é dito exemplificar um sistema formal de atos, quando interpretado operacionalmente. [PENDERGRAFT, 1993].

#### **5.2.5 Lógica Pragmática**

A divisão de todas as inferências em abdução, dedução e indução, como Peirce observou, pode ser a chave da lógica. A principal tarefa do lógico é classificar argumentos. Todo teste de teoria lógica depende dessa classificação. E a classificação colocada por Peirce para a lógica pragmática divide as inferências, por um lado, em inferência analítica ou dedutiva, e por outro as inferências sintéticas: indução e hipótese (ou abdução). As formas de raciocínio são definidas tradicionalmente por certas formas típicas de raciocínios chamados silogismos. Para a lógica pragmática as formas silogísticas são formas genéricas de argumentos lógicos dados em relação às três partes do ato:

**Dedução** é a inferência do caso e regra para o resultado.

**Indução** é a inferência do caso e resultado para a regra.

**Abdução** é a inferência do resultado e regra para o caso.

O princípio utilizado para determinar como as premissas associadas ao antecedente se relacionam com a conclusão associada com o conseqüente é denominado princípio condutor do raciocínio. Qualquer princípio condutor cuja verdade está implicada nas premissas é chamado lógico, ou princípio condutor

formal, enquanto um princípio condutor cuja verdade não está implicada nas premissas é chamado *factual*, ou princípio condutor material.

Para Peirce a teoria da probabilidade é simplesmente a ciência da lógica tratada quantitativamente. O problema geral da probabilidade é: a partir de um estado dado de fatos, determinar a possibilidade numérica de um fato possível. Portanto o problema de probabilidade para Peirce é simplesmente o problema geral da lógica. [PENDERGRAFT, 1993].

## 5.3 Tecnologia dos Autognomes

A teoria dos Autognomes [AUTOGNOMICS, 2001] distingue entre a organização e estrutura dos sistemas vivos (teoria da Autopoiese), onde a organização está relacionada aos processos de obtenção das estruturas do sistema como uma entidade física, com a capacidade de realização de atos efetivos e confiáveis. Deste modo, a organização é invariante, enquanto a estrutura é modificável, sujeita a mudanças, como no caso de geração ou destruição de relações no sistema.

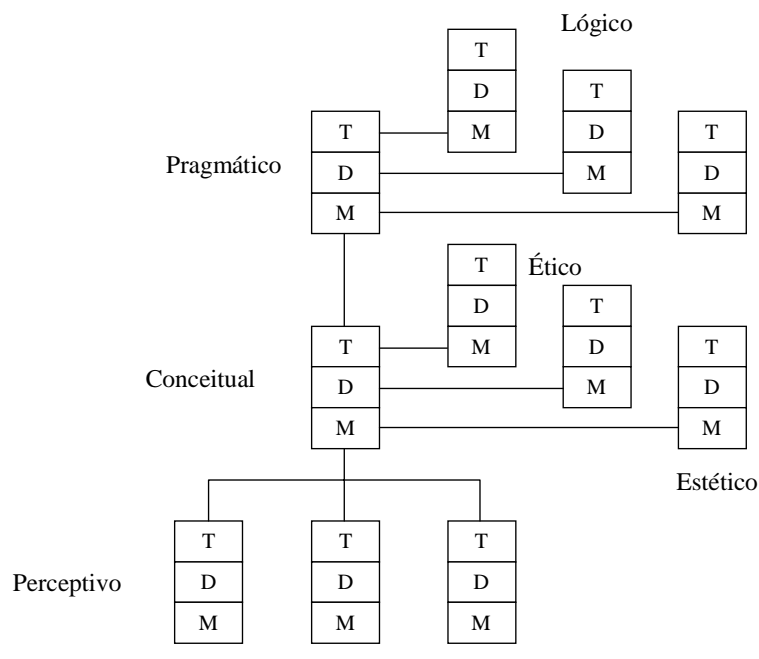
A organização é a lógica da semiose - o processo pelo qual os signos são modificados e crescem através de uma hierarquia multiresolucional e evolucionária. O nível mais baixo da hierarquia contém coleções de atos elementares discretos. O próximo nível agrupa atos elementares em sistemas de atos complexos e ordenados. O terceiro nível desenvolve atos mediados através dos quais atos elementares e atos complexos são mantidos em coerência.

Enquanto a semiose envolve uma hierarquia de processos, ela em si não é uma hierarquia. Ela é o resultado do desenvolvimento concorrente de todos os níveis da hierarquia num processo mutualmente recursivo.

Os Autognomes são projetados para realizar os processos que caracterizam um sistema vivo (sistema autopoietico). Isto implica que tanto a arquitetura do hardware como a programação são diferentes de computadores. Dito de outra forma, os Autognomes são construídos de componentes tais como microchips e circuitos eletrônicos mas não poderiam ser comparados a computadores, no sentido de uma máquina de Turing. Neste particular, estariam mais próximos das redes neurais denominadas *neural growing networks* [YASHCHENKO, 1995, 1996A, 1996B, 1998], usadas na proposta de modelagem formal do Agente semiótico proposta por Souza e Silva [Souza e Silva, 2001b].

### 5.3.1 Sistemas Multi-Enclaves

Como dissemos anteriormente, os Autognomes são sistemas multi-enclaves, ou seja, correspondem a um conjunto de módulos executando enclaves auto-organizáveis (figura 5.1).



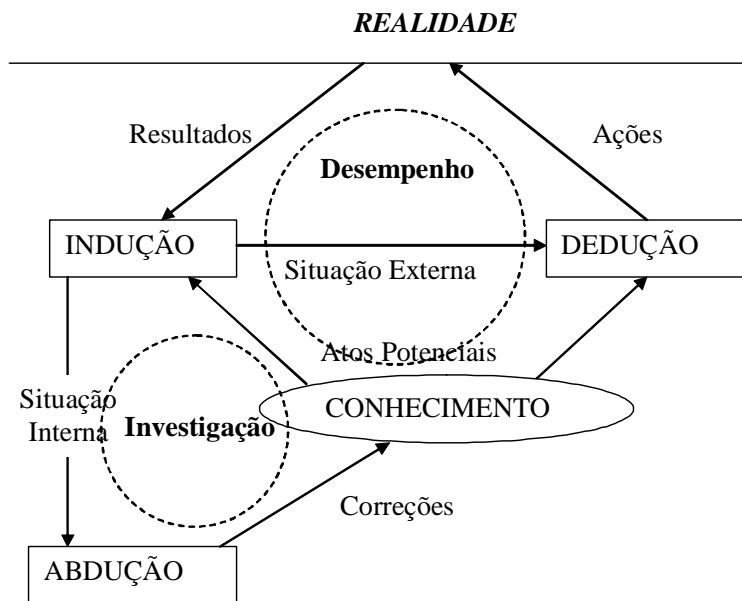
**Figura 5-1 – Arquitetura Geral de um Autognome**

Como mostrado na fig. 5.1, existem três níveis de enclaves: perceptivo, conceitual e pragmático (valoração). Dentro de cada nível, podem haver ainda outros enclaves, responsáveis pelos aspectos lógico, ético e estético. Cada módulo correspondente a um enclave contém três sub-módulos auto-organizacionais indicados pelas letras T, D e M na figura, correspondendo aos níveis triádico, diádico e monádico. O modo monádico é programado para detectar as qualidades internas dos atos elementares tais como as várias medidas de seus resultados bem sucedidos. O modo diádico é programado para detectar e estabelecer as qualidades externas dos atos elementares tais como os vários sistemas ordenados nos quais os atos elementares tomam parte. O modo triádico é programado para detectar e estabelecer atos mediados entre os atos elementares e seus sistemas ordenados.

Cada módulo ganha experiência através de agentes conectivos. Cada agente conectivo consiste de uma tríade incluindo um efector (ator), um mediador e um sensor. Somente o módulo perceptual realiza transações com o ambiente externo. Os módulos restantes são conectados a outros módulos dentro do Autognome. O número de módulos depende da aplicação do Autognome e pode variar de três a doze. [AUTOGNOMICS, 2001].

### **5.3.2 Enclaves Auto-organizacionais**

Cada enclave auto-organizacional consiste de três processos programados, abdução, dedução e indução operando três repositórios de informação: um de conhecimento, um de experiências e um de valorações. O repositório de conhecimento contém atos potenciais. A experiência registra atos usados e estatísticas considerando seu uso. Ao longo do tempo os enclaves podem detectar tendências no repositório de experiências. Essas tendências são usadas para estabelecer valores no repositório de valorações (figura 5.2).



**Figura 5-2 – Estrutura de um Enclave**

Como mostrado na fig. 5.2, O Autognome atua de dois modos distintos, que correspondem ao modo de investigação (ou aquisição de conhecimento no Agente Semiótico de Souza e Silva [SOUZA E SILVA, 2001B]) e modo de desempenho (que corresponde ao modo de utilização do conhecimento no Agente Semiótico de Souza e Silva [SOUZA E SILVA, 2001A]). O modo de investigação invoca a cooperação entre indução e abdução. O modo de desempenho invoca a cooperação entre dedução e indução. Ao contrário de computadores que são programados para responder simplesmente a entradas, os Autognomes respondem a suas próprias condições internas para manter todos os repositórios de informação em um relacionamento satisfatórios, como proposto pelo axioma da economia semiótica no caso do agente semiótico de Souza e Silva [SOUZA E SILVA, 2001D]. Durante a dedução e/ou indução o repositório de valores pode receber condições (sinais) indicando que nem tudo está ocorrendo bem com algum dos elementos do conhecimento. Os Autognomes começarão então a realizar processos cíclicos de auto-correção. Que continuarão até que não haja mais sinais ou até que nada mais possa ser feito. Neste caso, ele aguardará que novas experiências ocorram para que futuras correções possam ser realizadas.

Tais processos de auto-correção não modificam programas. Nos Autognomes os programas são invariantes. Eles são processos organizacionais, ao contrário dos repositórios de informação que são estruturalmente reconstrutíveis, tal como formulado em [POSPELOV, 1991, 1997] (e adotado na formulação do modelo auto-organizacional da rede semiótica de conhecimento por Souza e Silva [SOUZA E SILVA, 2001A]). Por exemplo, o repositório de experiências é modificado por onze processos combinando indução e abdução.

Os repositórios de conhecimento e de experiências não contêm somente atos elementares, mas também classes de atos. O signo (símbolo) assinalado a uma classe representa o propósito do Autognome, fazendo uso dos atos contidos naquela classe [AUTOGNOMICS, 2001].

### 5.3.3 Exemplo Ilustrativo

Um possível exemplo do uso de um Autognome poderia ser o processamento de textos. Um módulo perceptual utiliza um scanner para a obtenção de imagens de textos impressos e seus agentes conectivos - triplas efetor-mediador-sensor, podem ser programados para produzir e reconhecer 94 caracteres ASCII impressos. Isto constitui o nível monádico elementar.

O sistema pode então descobrir os seguintes atos, utilizando a aprendizagem, que começa no nível diádico:

Se "t" produza "h"

Se "h" produza "i"

Se "i" produza "s"

Estes, podem ser simbolizados por t.h, h.i, i.s. Em um ciclo posterior ele pode combinar estas regras em uma classe chamada "this". Ele pode também aprender a formar uma classe chamada "thistle". Após aprender classes chamadas "white" e "whittle" ele pode decidir que possui algumas classes sobre-generalizadas e reduzi-las para "this", "white" e "tle", ("whit" significa uma partícula ou pequena partícula).

É por processos abduativos que tais classes são formadas gerando um vocabulário para uma linguagem. Dado o vocabulário, processos abduativos podem formar classes que representam a sintaxe de frases e, finalmente, a sintaxe de sentenças.

Depois, por processo similar, o nível triádico é formado criando classes de atos para o uso correto. É neste nível que sentenças corretas sintaticamente mas sem semântica, são excluídas, tais como "idéias verdes dormem furiosamente".

Foi dito anteriormente que todos os níveis evoluem concorrentemente em recursão mútua. Claramente, como mais palavras são adicionadas, através da experiência ao vocabulário, os níveis acima são mais exigidos e conseqüentemente tornam-se mais competentes. É também verdade que cada nível é representado por um enclave auto-organizacional. E que também nenhum enclave auto-organizacional pode ser controlado por outro enclave. De qualquer modo, outros enclaves podem sinalizar áreas problemáticas através de valores armazenados. Como cada enclave detecta sinais de problemas ele prosseguirá em novos ciclos de aprendizagem para remover o problema, estando portanto exemplificada a sua capacidade de aprender pela própria experiência. [AUTOGNOMICS, 2001].

## 5.4 Resumo

Neste capítulo foi mostrado uma síntese do estudo de Pendergraft sobre o emprego da lógica pragmática na concepção de agentes semióticos denominados Autognomes, com a capacidade de auto-conhecimento em decorrência de seus processos sgnicos na forma de enclaves auto-organizáveis. Estes são entidades que implementam a lógica pragmática (abdução, dedução e indução), e são responsáveis pela construção de sistemas de signos na forma de sistemas de Atos (potenciais, atuais e comparação). Pendergraft ao explorar os fundamentos da filosofia de Peirce, considerando as ciências normativas (Estética, Ética e Lógica) em toda sua plenitude, desenvolveu um modelo de sistema inteligente que leva em consideração não somente a semiótica (teoria dos signos) mas também a fenomenologia (teoria das categorias) e a pragmática (teoria da comunicação), na concepção dos

Autognomes. O trabalho de Pendergraft, por ser fruto de uma pesquisa madura, realizada ao longo de mais de quatro décadas, realmente absorveu inquestionavelmente os fundamentos do sistema filosófico de Peirce. Quando observado sob a ótica de trabalhos correlatos, somente o modelo conceitual e formal do agente semiótico proposto em [SOUZA E SILVA, 1999, 2000, 2001A, 2001B, 2001C, 2001D], ainda em construção, pode ser considerado similar em escopo, uma vez que as motivações são coincidentes nos dois casos. Isto é, espera-se desenvolver a concepção de um sistema inteligente com a capacidade de aprender pela própria experiência, baseado na categorias semióticas peirceanas, no processo de semiose ilimitada, no ciclo semiótico de conhecimento e conhecimento colateral [SOUZA E SILVA, 1998, 1999, 2000, 2001A, 2001B], tendo sua motivação unicamente no sistema filosófico de Peirce.

# 6.A Semiose Multi-Resolucional de Albus-Meystel

## 6.1 Introdução

Neste capítulo, apresentaremos as principais idéias relacionadas à arquitetura do Sistema Inteligente proposto por Albus [ALBUS 1991, ALBUS 1997, ALBUS & MEYSTEEL 1997], bem como a proposta da Semiótica Multiresolucional de Meystel [MEYSTEEL 1996]. A abordagem Albus-Meystel começa com Albus em [ALBUS 1991] nos apresentando sua visão do que seria o conceito de "**inteligência**". Um conjunto de requisitos mínimo para uma inteligência seriam as seguintes habilidades: capacidade de sensoriar o meio, tomar decisões e executar ações de controle. Em níveis mais altos, essa mesma inteligência será capaz de reconhecer objetos e eventos, representar conhecimentos e fazer planos para o futuro.

Um outro conceito fundamental que está diretamente ligado ao que entendemos por inteligência é o conceito de "propósito". Segundo Peirce, o que diferencia uma ação inteligente de uma ação puramente mecânica é o fato da primeira ser uma ação mediada (regulada, balizada, controlada) por um propósito. Esse propósito, ou de maneira alternativa, um conjunto de metas ou objetivos que devem ser atingidos, é o que faz com que um sistema seja inteligente. Mais do que isso, o que torna um sistema inteligente é sua capacidade de avaliar se suas metas estão ou não sendo cumpridas, e por meio desta avaliação determinar correções em seu comportamento de tal forma que seu propósito seja cumprido. Segundo Albus [ALBUS 1991]: "A Inteligência é a faculdade de um sistema que lhe confere a habilidade de agir apropriadamente em um ambiente incerto, onde ação apropriada é aquela que aumenta a probabilidade de sucesso, e sucesso corresponde à satisfação de sub-metas comportamentais que suportam a meta última do sistema". Portanto, podemos dizer que um Sistema Inteligente é aquele que atua em função de um conjunto de metas, embora, para determinar uma arquitetura para um sistema inteligente, acabamos por nos inspirar naquilo que chamamos de inteligência humana, ou seja, um grupo de funcionalidades especiais que seres humanos exibem em seu comportamento, e que estão normalmente associados à inteligência [GARDNER 1983]. Por exemplo, um sistema inteligente deve interagir com o mundo e obter informações, que são posteriormente processadas e utilizadas para se tomar decisões e agir no mundo real. Nesse processo, um sistema inteligente pode

apresentar diferentes níveis ou graus de inteligência, conforme realize ou não cada uma das funcionalidades especiais relacionadas ao comportamento inteligente. Dentre outras, poderíamos citar as capacidades de percepção sensorial, o uso de conhecimentos heurísticos inatos ou adquiridos, capacidade de compreensão de situações, deliberações sobre decisões de controle alternativas, capacidade de predição e planejamento, bem como adaptação e aprendizado.

## **6.2 A Arquitetura de um Sistema Inteligente**

Um sistema inteligente, segundo Albus, é composto por quatro módulos (ou sub-sistemas) [ALBUS 1991, ALBUS 1997, ALBUS & MEYSTEEL 1997, ALBUS & MEYSTEEL 2001]: processamento sensorial, modelo do mundo, julgamento de valores e geração de comportamento. As entradas e saídas de um sistema inteligente ocorrem sempre por meio de sensores e atuadores. Nas sub-seções a seguir, detalharemos cada um dos módulos que compõem o sistema inteligente, começando pelos sensores e atuadores que constituem os módulos de comunicação do sistema com o seu ambiente.

### **6.2.1 Sensores**

A entrada de informações em um sistema inteligente ocorre sempre por meio de sensores, como por exemplo: sensores visuais de brilho e cor, sensores de tato ou de força, detectores de posição, velocidade, vibração, sensores acústicos, de olfato ou paladar, dispositivos de medição de temperatura, e muitos outros. Estes sensores tanto podem ser usados para monitorar os estados do mundo externo como os próprios estados internos do sistema inteligente. A informação dos sensores é sempre enviada ao módulo de Processamento Sensorial do sistema inteligente, que transformará os sinais oriundos dos sensores em informação útil ao sistema.

### **6.2.2 Atuadores**

A saída de um sistema inteligente é sempre direcionada ao ambiente por meio dos atuadores. Estes, podem realizar movimentos, exercer forças e posicionar articulações, garras, sensores ou qualquer dispositivo pertinente ao tipo de sistema que se deseje considerar. Um sistema inteligente pode ter poucos ou muitos atuadores. Estes, podem ser coordenados para executar tarefas complexas e perseguir determinados objetivos. Exemplos de atuadores incluem músculos e glândulas (em seres humanos), motores, pistões, solenóides e transdutores (máquinas atuadoras). A geração de fala pode ser considerada também como um processo de atuação.

### **6.2.3 Processamento Sensorial - Percepção**

Os sensores alimentam o módulo de Percepção Sensorial. Esse é o módulo responsável pelo mecanismo da percepção (ou processamento sensorial), que compara observações sensoriais com expectativas prévias geradas por um modelo do mundo. No módulo de processamento sensorial, são integradas, em função do tempo e do espaço, as similaridades e diferenças entre as observações e as expectativas, de maneira a detectar eventos e reconhecer características, objetos e relações no mundo. Os algoritmos de processamento sensorial computam distância,



forma, orientação, características de superfícies, físicas e atributos dinâmicos de objetos e regiões do espaço.

#### **6.2.4 Modelo do Mundo**

O modelo do mundo oferece a cada instante a melhor estimativa do estado do mundo, obtida pelo sistema inteligente. O modelo do mundo inclui uma base de dados envolvendo conhecimentos sobre o mundo e uma base de dados usada pelo sistema para guardar e recuperar informações gerais. Além disso, o modelo tem a capacidade de simulação, gerando expectativas e previsões. Este modelo provê respostas a requisições de informação em relação ao passado, presente, e prováveis estados futuros do mundo. Fornece também um serviço de informação ao módulo de geração de comportamento para fazer planejamentos e modificações de comportamentos. Proporciona também informação aos módulos de julgamento de valores para computar valores de custo, risco, incerteza, etc. O modelo do mundo mantém-se atualizado pelas informações recebidas do módulo de processamento sensorial.

#### **6.2.5 Julgamento de Valores**

O módulo de julgamento de valores determina o que é bom ou ruim, recompensa ou punição, importante ou trivial, certo ou improvável. É o módulo responsável por realizar diversas avaliações que são cruciais para o comportamento inteligente. Neste módulo é feita uma avaliação conjunta do estado atual do ambiente com as previsões resultantes dos planos hipotéticos gerados pelo módulo de geração de comportamentos. São computados os fatores custo, risco e benefício, tanto das situações observadas como das atividades planejadas. As variáveis de estado são atribuídas medidas de probabilidade de exatidão, credibilidade e incerteza. Também são atribuídas medidas de atratividade ou repulsividade aos objetos, eventos e regiões do espaço. Sendo assim, o módulo de julgamento de valores gera subsídios para que decisões sejam tomadas, selecionando-se uma ação em contraposição a outra. Sem um sistema de valores, nenhum sistema inteligente consegue atingir seus objetivos [ALBUS 1991].

#### **6.2.6 Geração de Comportamento**

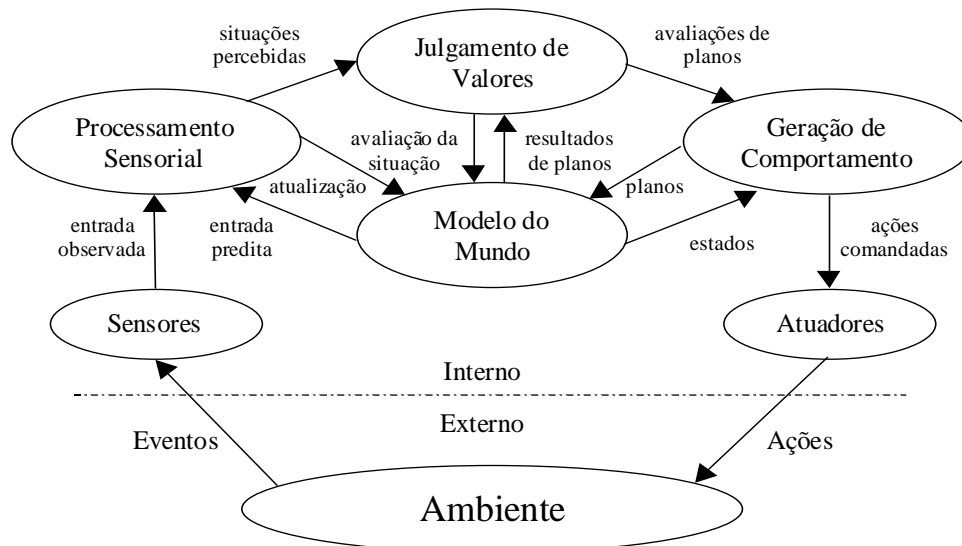
O módulo de geração de comportamento deve ser capaz de gerar planos, metas e objetivos, além de executar tarefas. Tarefas são recursivamente decompostas em sub-tarefas, que são seqüenciadas de modo a se atingir os objetivos. Metas são selecionadas e planos gerados por meio da interação cíclica entre os módulos de geração de comportamento, modelo de ambiente e julgamento de valores. O módulo de geração de comportamentos gera planos, o módulo de modelo do mundo prediz os resultados desses planos e o módulo de julgamento de valores avalia esses resultados. Então, o módulo de geração de comportamento seleciona os planos com a melhor avaliação e os executa por meio dos atuadores. Além disso, monitora a execução de planos anteriores, modificando-os quando necessário.

Cada módulo do sistema inteligente é razoavelmente independente em relação aos outros módulos. Entretanto, para que o fenômeno da inteligência se manifeste, é necessário mais do que simplesmente um conjunto de módulos separados ou desconectados. Para que o sistema atue de maneira inteligente, é necessário que articulemos uma arquitetura para o sistema que interconecte os diferentes módulos,

de uma maneira tal que, por meio da comunicação entre si, exista um toma de decisões e acabem desenvolvendo um comportamento inteligente.

### 6.2.7 Integração entre os Módulos

Na Figura 6.1 representamos as relações entre cada um destes módulos, e a comunicação do sistema com o mundo, realizada por meio dos sensores e atuadores.



**Figura 6-1 - Módulos de um sistema inteligente e suas relações funcionais.**

Esta estrutura organiza os módulos da inteligência para criar relações funcionais e fluxos de informação entre os módulos apresentados. O módulo de processamento sensorial é o encarregado de processar a informação sensorial adquirida e atualizar o modelo interno do mundo externo. O módulo de geração de comportamento controla os atuadores de modo a atingir as metas, utilizando como informação o contexto obtido do modelo do mundo percebido. O módulo de geração de comportamento pode interagir conjuntamente com o modelo do mundo e com o módulo de julgamento de valores, para raciocinar acerca do espaço e tempo, geometria e dinâmica dos objetos percebidos no mundo. Pode também formular ou selecionar planos baseados em valores de custo, risco, utilidade e metas *a priori*. O módulo de processamento sensorial pode interagir com o modelo do mundo e com o módulo de julgamento de valores para atribuir valores a entidades percebidas, eventos e situações. Enfim, esta arquitetura é organizada de tal forma que possa responder adequadamente aos diferentes estímulos provenientes do mundo.

## 6.3 Arquitetura de Referência para um Sistema Inteligente

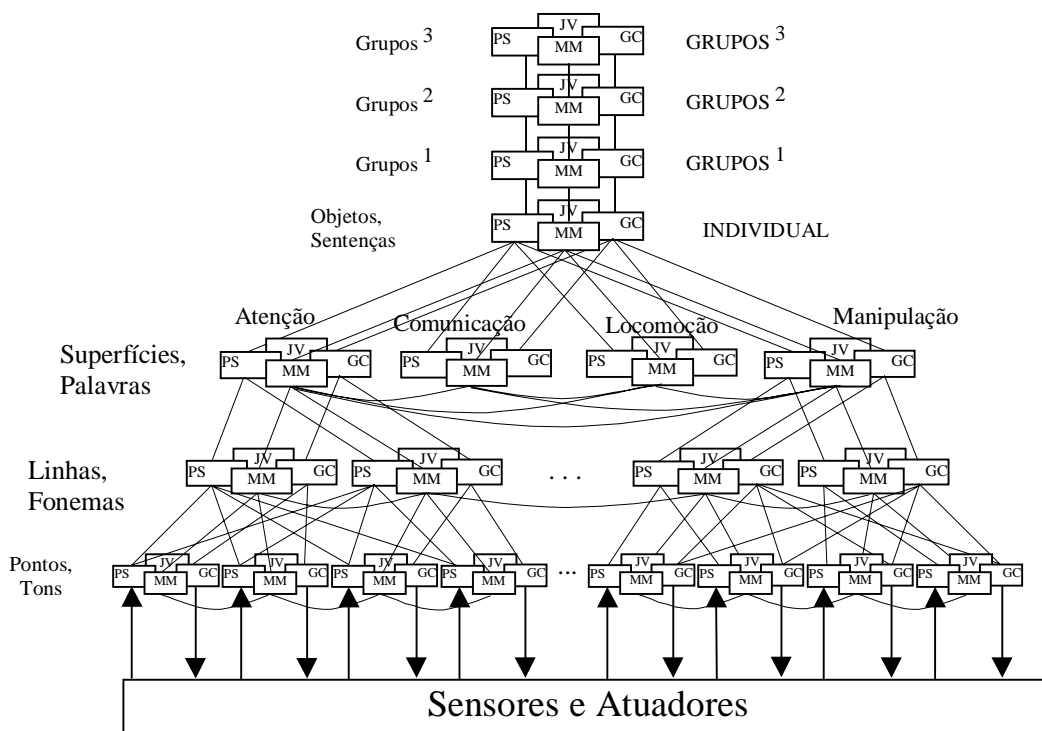
Utilizando como base os módulos descritos anteriormente, uma arquitetura modelo para um sistema inteligente foi desenvolvida por Albus em [ALBUS1991, ALBUS & MEYSTEEL 1996, ALBUS 1997, ALBUS & MEYSTEEL 1997] tendo sido denominada de *RCS (Real-Time-Control System)*. Esta pode ser observada na Figura 6.2. Esta arquitetura foi normatizada pelo NIST como uma arquitetura padrão para sistemas inteligentes, sendo utilizada como arquitetura de referência

para as diversas aplicações de sistemas inteligentes desenvolvidas no *Intelligent Systems Division* do NIST.

A arquitetura consiste em um conjunto de nós processados hierarquicamente por níveis estratificados e conectados por meio de uma rede de comunicação. Cada nó está formado pelos quatro módulos apresentados na seção anterior, mantendo as mesmas relações funcionais da Figura 6.1.

Na Figura 6.2 se observa como a arquitetura do sistema proposto replica e distribui as relações da Figura 6.1 em uma estrutura computacional hierárquica. A arquitetura está organizada por níveis, sendo que cada nível está composto por nós. Cada um dos nós de mais baixo nível é supervisionado por um nó de mais alto nível. Cada nível mais baixo da arquitetura é considerado um sub-nível para o nível superior. Esta consideração é válida para cada um dos nós de cada nível.

Cada nó de cada nível da organização hierárquica contém os quatro tipos de módulos computacionais: geração de comportamento (GC), modelo do mundo (MM), processamento sensorial (PS) e julgamento de valores (JV). Em cada nível, os nós e os módulos computacionais dentro dos nós, são interconectados aos outros por meio de um sistema de comunicação. O nível mais baixo da arquitetura encontra-se conectado aos sensores e aos atuadores, permitindo desta forma a interação do mundo com o sistema inteligente. Os Sensores (S) são os encarregados de monitorar o mundo, para prover informação ao processamento sensorial, e os atuadores (A) são os encarregados de agir sobre o mundo.



**Figura 6-2 - RCS - Arquitetura de Referência para Sistemas Inteligentes**

Em cada um dos níveis, os dados obtidos dos níveis inferiores são processados, entidades são reconhecidas, atualizando as representações do modelo do mundo no respectivo nível e conjuntos de tarefas são decompostas em sub-tarefas paralelas e seqüenciais. A cada nível, a realimentação com os níveis inferiores determina um ciclo completo de controle. A cada nível, tarefas são decompostas em sub-tarefas e sub-

metas, e o comportamento é planejado e controlado. O resultado do mesmo é um sistema que combina e distribui informação de controle através de toda a arquitetura [SOUZA E SILVA 1998].

## 6.4 Panorama Semiótico para Sistemas Inteligentes

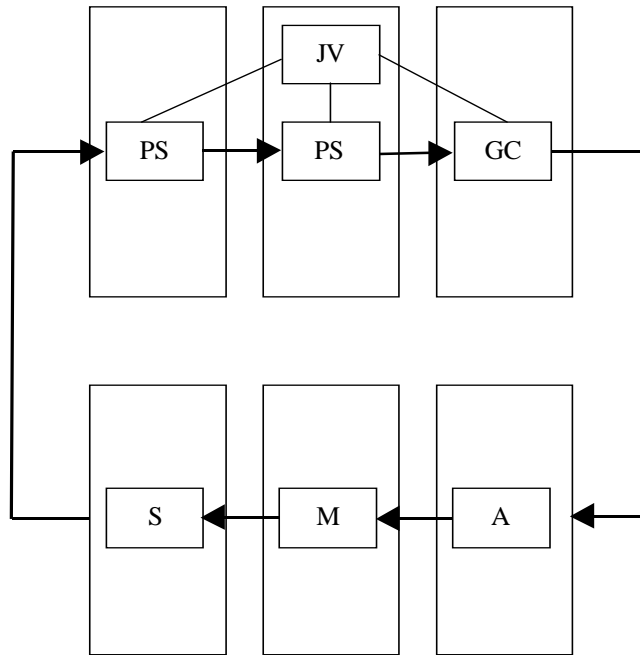
A partir da arquitetura de referência para sistemas inteligentes de Albus, Meystel desenvolveu uma análise semiótica que busca compreender e modelar as interações entre os módulos (nós localizados) do sistema inteligente como um processo recursivo de semiose. Dessa análise, resultou o que ele chamou de Semiótica Multiresolucional [MEYSTEEL 1996].

A abordagem semiótica de Meystel não utiliza a teoria semiótica Peirceana, mas é derivada principalmente da proposta de controle situacional semiótico de Pospelov abordada no capítulo 4. Entretanto, Meystel a certo ponto rompe com as idéias de Pospelov e passa a desenvolver um modelo muito próprio e particular do fenômeno semiótico. Seu entendimento de semiótica pode então ser classificado de independente, não estando relacionado com outros modelos semióticos, a não ser pelo objeto de estudo a que se propõe, ou seja, a busca pelo significado em sistemas inteligentes.

Para Meystel, o processo de semiose é um processo que envolve um ciclo recursivo de sensoriamento, interpretação e atuação, envolvendo a entidade semiótica e o ambiente em que esta está imersa. Internamente, a entidade semiótica implementa um modelo do mundo que consiste em um conjunto interrelacionado de símbolos, um conjunto de procedimentos definindo seus significados, e um conjunto de regras para a organização de conhecimento, criação de novos conhecimentos, formação e comunicação de mensagens, seguindo a arquitetura de referência proposta por Albus [ALBUS & MEYSTEEL 2001]. Em virtude disso, ele identifica o processo de semiose como o causador direto do fenômeno da inteligência em sistemas inteligentes. Segundo ele, o núcleo desse processo é resultado da interação cíclica de três operadores elementares: agrupamento, foco de atenção e busca combinatorial, que ele chama abreviadamente de **GFACS** (*Grouping, Focus of Attention, Combinatorial Search*). O processo GFACS ocorre sempre dentro do módulo do Modelo do Mundo. Este módulo, mais do que um simples repositório passivo de informações, corresponderia a um módulo ativo, em constante processo de re-estruturação, onde as informações obtidas dos outros módulos é constantemente modificada e atualizada, utilizando o GFACS como paradigma de estruturação. Em outras palavras, Meystel confunde o processo de semiose com a própria aplicação de seu processo GFACS. Com isso, ele argumenta que uma “unidade elementar de inteligência” seria qualquer tipo de processo implementando o GFACS. Estes conceitos encontram-se detalhados nas sub-seções a seguir.

### 6.4.1 Diagrama Six-Box

Iniciando sua análise semiótica da arquitetura *RCS* de Albus, Meystel tenta identificar os componentes que formam o ciclo básico de semiose (sempre segundo sua visão muito particular de semiose), ou seja, as etapas de sensoriamento, interpretação e atuação, e seu contato com o ambiente ou mundo com que o sistema interage. Essa análise dá origem ao que Meystel chama de “Diagrama Six-Box”, onde ele segrega os componentes da arquitetura *RCS* em 6 módulos conectados de maneira sequencial e circular, conforme mostrado na Figura 6.3.

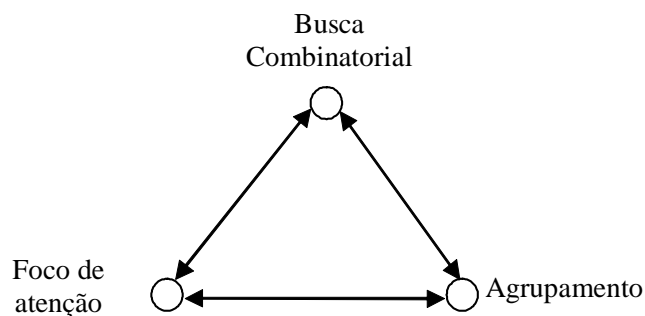


**Figura 6-3. Diagrama Six-Box**

Esse diagrama, segundo Meystel, corresponde ao ciclo básico de semiose, e é reproduzido então em múltiplos níveis hierárquicos, dando origem ao que Meystel chama de Semiótica Multiresolucional.

#### **6.4.2 O Processo de Extração de Significado**

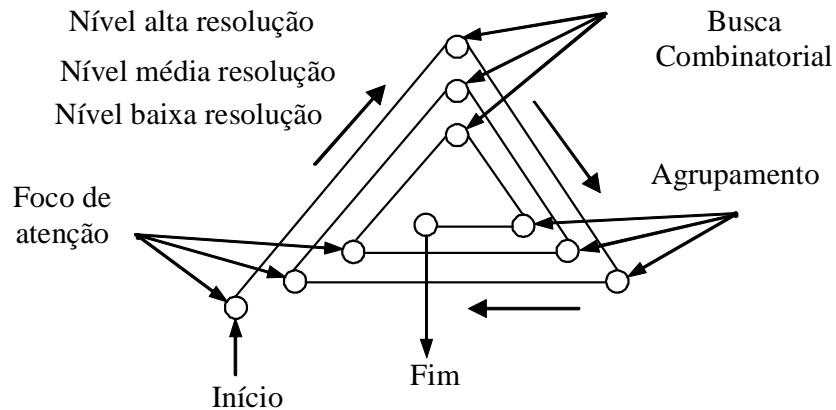
Em complemento ao que Albus havia proposto inicialmente, Meystel introduz o GFACS como o operador que cria e utiliza o modelo do mundo para se auto-atualizar. Como dissemos anteriormente, Meystel afirma que o GFACS corresponderia a uma “unidade elementar de inteligência”, que utilizada de maneira recursiva e em múltiplos níveis de resolução, daria origem ao fenômeno da inteligência. [MEYSTELE 1996]. Na Figura 6.4, podemos observar o módulo elementar de inteligência, GFACS, modelado por um triângulo onde cada vértice pode-se comunicar com outro, para o processamento da informação.



**Figura 6-4 - GFACS : Módulo Elementar da Inteligência**

Apesar de podermos compreender o GFACS como um processo isolado, os resultados mais interessantes ocorrem quando o mesmo é aplicado recursivamente, em diferentes níveis hierárquicos, dando origem a um processo multi-resolucional.

Por exemplo, na Figura 6.5, pode-se observar um GFACS multiresolucional com três níveis de resolução.



**Figura 6-5 - Sistema Multiresolucional usando GFACS**

Observemos a Figura 6.5 para compreendermos como esse processo funciona. Cada nível corresponde a um conjunto de entidades distribuídas ao longo de um espaço. O nível de mais alta resolução é o nível mais baixo da hierarquia. Como um caso prático para compreendermos essa abstração, imaginemos um espaço que corresponda a uma imagem capturada por uma câmera de vídeo, por exemplo. Cada pixel corresponde a uma entidade nesse nível mais alto de resolução (nível mais baixo da hierarquia). Sobre a imagem, passa-se então a desenvolver um foco de atenção. Imaginemos que, nesse exemplo, o foco de atenção seja uma grade de 9x9 pixels, formando uma janela que pode se mover por toda a imagem. Começa aí então o processo de busca combinatorial, onde se pode mover a grade em diferentes posições da imagem. Para cada posição movida, o mecanismo de generalização e agrupamento tentará agregar pixels com características similares (por cor ou por níveis de cinza) em entidades generalizadas que serão enviadas para o nível hierárquico acima (nível médio de resolução). No nível hierárquico intermediário, ao invés de ter que lidar com todos os pixels novamente, as entidades não serão mais os pixels, mas as entidades agrupadas determinadas pelo nível anterior (de mais alta resolução). Com isso, o espaço de busca do nível médio acaba não sendo tão grande quanto se considerasse todos os pixels novamente. O processo se repete então, fazendo-se o foco de atenção sobre as entidades disponibilizadas pelo nível anterior, a busca e a generalização gerando um novo conjunto de entidades para o nível hierárquico acima. Observe que esse processo diminui o espaço de busca, pois os detalhes ficam confinados ao nível mais alto de resolução. Este mesmo processo poderia ser aplicado, por exemplo no reconhecimento da fala. Ou seja, no nível de maior resolução teríamos os sons gravados a partir de uma placa de som. Durante o agrupamento, o sistema forneceria entidades de mais alto nível hierárquico, digamos, a FFT (Transformada de Fourier) do sinal em janelas de tempo, no nível superior teríamos algo como fonemas, depois sílabas e depois palavras e frases.

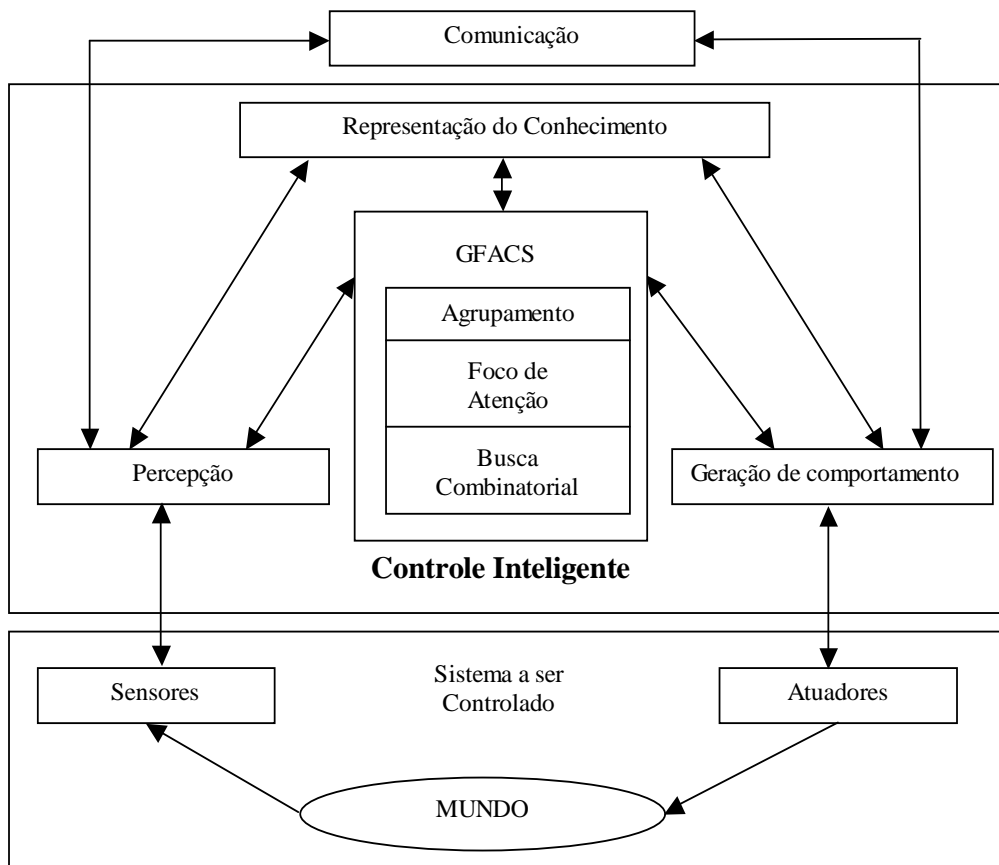
Assim, a cada ciclo realizado, entidades generalizadas são obtidas a partir das entidades existentes no nível de resolução anterior, uma vez que foram realizadas as operações acima mencionadas.

O desenvolvimento da inteligência humana poderia ser impossível sem um foco de atenção, porque é este processo que permite a comparação das regularidades do mundo de forma a criarmos abstrações de nossos sentidos que

chamamos de objetos ou coisas, com os quais fazemos nossos planos de ação. Enfim, nossa comunicação seria impossível se não pudéssemos focalizar nossa atenção seletivamente em uma determinada pessoa, ou objeto. O mecanismo de foco de atenção é portanto um pré-requisito para o agrupamento, permitindo a formação de grupos ou classes. Podemos então nos referir a partes do ambiente na forma de símbolos, termos, palavras, criando assim o fundamento para os conceitos representados.

Com a utilização destas técnicas, pode-se aproveitar os mecanismos de busca oriundos da inteligência artificial clássica, fugindo do problema da falta de fundamento simbólico, pois cada símbolo (entidade de algum nível de resolução) está sempre fundamentado nas entidades do nível de resolução superior pelo qual foram formados. Isso permite a junção das técnicas de inteligência artificial com as técnicas da inteligência computacional, criando sistemas inteligentes mais elaborados.

Na Figura 6.6, apresenta-se uma modificação do diagrama *Six-Box*, onde se explicita o papel do GFACS [MEYSTEEL 1996].



**Figura 6-6. Diagramas Six-Box com GFACS.**

Na Figura 6.7 mostra-se como o diagrama *Six-Box* é transformado em uma hierarquia com três níveis de resolução, onde cada nível apresenta a mesma estrutura. Desta maneira é formada uma estrutura multiresolucional de símbolos. Enfim, como a estrutura é uma hierarquia multiresolucional, o grau de abstração dos níveis cresce de baixo para cima, onde níveis mais baixos representam entidades do mundo com maior número de detalhes [SOUZA E SILVA 1998].

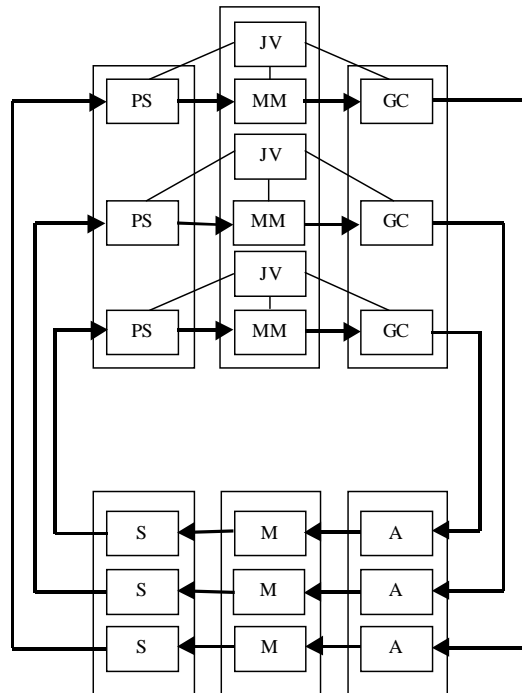


Figura 6-7. Ciclos de funcionamento do modelo *Six-Box*.

## 6.5 A Semiose de Meystel e os Sistemas Inteligentes

Como dissemos anteriormente, a semiótica de Meystel desenvolveu-se de maneira independente, não tendo sido motivada ou inspirada por abordagens como a Peirceana, por exemplo. Devido a esse fato, sua proposta semiótica foi severamente criticada pela comunidade semiótica, pois apesar do objetivo comum, não apresentava nenhuma conexão com outras idéias e terminologias correntes na literatura semiótica. Uma grande crítica que se fazia era que Meystel não deixava explícita sua visão de signo, nem como ela poderia ser comparada com os diferentes modelos de signo encontrados na literatura semiótica.

De modo a contentar seus detratores, Meystel passa então a incorporar conceitos comuns da literatura semiótica em sua abordagem. Para tanto, se serve de conceitos trazidos principalmente por Eco [ECO 1976] e Morris (conforme [MEYSTEEL 1995]). Nessa tentativa, Meystel cria o diagrama apresentado na Figura 6.8, onde tenta unificar diversos conceitos, dentre eles a idéia de signo, objeto e interpretante, sintaxe, semântica e pragmática (seguindo as idéias de Morris e Eco), com as idéias de Albus.

O fluxo de conhecimento, dentro do hexágono e o triângulo, é dado em virtude da comunicação entre os nós, por meio dos estágios de: codificação, representação, organização, interpretação, generalização, aplicação e transdução, os quais são considerados diferentes formas de comunicação (mapeamento de uma linguagem em outra). Quando acontece algo no mundo, podemos dizer que estamos em presença do início do processo de representação. Esta mudança no mundo é codificada por meio dos sensores, na forma simbólica. O papel da percepção é representar de forma mais organizada, os resultados dos sensores através de signos. Este processo de organização é chamado de Sintaxe, e se inicia com a percepção, seguida pelos estágios sub-seqüentes de formação de conhecimento, obtendo conhecimentos cada vez mais generalizados. A estrutura inicial converte-se em



conhecimento depois de novas generalizações, quando sua representação é finalizada e sua interpretação torna-se possível. A interpretação habilita o processo de tomada de decisão, no qual a Semântica, junto com a Sintaxe, dão origem a um interpretante [MEYSTEEL 1996].



**Figura 6-8. Diagrama Funcional da Semiose.**

O interpretante é materializado no processo de atuação, que é análogo à geração de novos conhecimentos. Como resultado deste processo, novos conhecimentos são gerados, produzindo variações físicas e/ou conceituais; novos objetos são percebidos e assim, todo o processo é reiniciado novamente.

Apesar de responder a seus detratores, a descrição da semiótica de Meystel em termos de conceitos da semiótica clássica traz mais dúvidas que respostas. A descrição de seu conceito de signo é muito pouco clara, e deixa a sensação de que nessa transformação para a terminologia da semiótica clássica, a semiótica de Meystel de certa forma se perde, e não chega a aproveitar em nada dos modelos clássicos semióticos, servindo-se deles somente para validar sua semiótica como uma semiótica legítima.

Apesar disso, é importante mencionarmos que, se a questão não foi completamente resolvida, os trabalhos de Albus e Meystel sem dúvida colocam-se dentre os pioneiros no estudo da inter-relação entre a semiótica e os sistemas inteligentes, trazendo todo um conjunto de idéias novas e contribuindo para dar um novo alento ao estudo dos sistemas inteligentes.

## 6.6 Resumo

Neste capítulo apresentou-se o modelo de Albus para os sistemas inteligentes, e a introdução da metodologia semiótica de Meystel, com sua Semiose Multiresolucional, formatando o modelo de Albus para o paradigma semiótico. Foi dada uma visão geral do conjunto de elementos que compõem o módulo de inteligência “GFACS” e apresentou-se o diagrama funcional da Semiose, onde se tentou expressar uma possível relação entre a arquitetura *Six-Box* de Albus e Meystel [MEYSTEEL 1996] e a Semiótica clássica.

# 7. Outras Abordagens

## 7.1 Introdução

Além dos trabalhos mais influentes, abordados nos capítulos 4, 5 e 6, diversos outros autores ofereceram contribuições à semiótica computacional, embora de menor magnitude. Neste capítulo veremos de maneira resumida as seguintes abordagens:

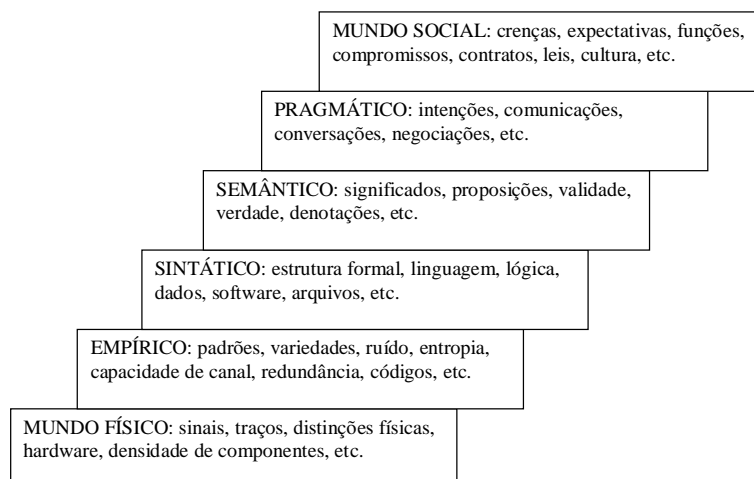
- A Semiótica Organizacional de Stamper e Liu
- Os Sistemas de Processamento Cognitivo Semióticos de Rieger
- Os Agentes Semióticos de Rocha-Joslyn
- Os Sistemas Intelectuais de Perlovsky
- A Abordagem Ecológica Semiótica de Prueitt

## 7.2 A Semiótica Organizacional

A Semiótica Organizacional compreende uma área de pesquisa envolvida com o estudo de organizações utilizando conceitos e métodos da Semiótica [LIU, 2000, LIU ET.AL. 2001]. A idéia básica é que poder-se-ia modelar organizações (e aqui podemos entender desde organizações químico-biológicas até organização de pessoas, empresas – organizações empresariais ou mesmo organizações virtuais) do ponto de vista do processamento de signos. Assim, a semiótica organizacional analisa os processos de geração e interpretação de signos como sendo o componente básico por trás do comportamento de uma organização.

Os estudos de Kecheng Liu [LIU, 2000] abordam principalmente os aspectos da semiótica organizacional aplicados a organizações humanas. Em seu ponto de vista, pessoas exercem uma influência decisiva sobre o comportamento organizacional, através do intercâmbio de signos de maneira individual ou em grupos.

Stamper [LIU ET.AL. 2001] se aproveita da divisão da semiótica em três níveis: sintático, semântico e pragmático, trazida por Morris, adicionando outros três: o físico (contendo aspectos físicos relacionados à mídia em que os signos são expressados), o empírico (contendo propriedades estatísticas dos signos quando estes são utilizados em mídias diferentes) e o social (onde os efeitos do uso dos signos no relacionamento humano são estudados). Estes níveis acabam organizados como na figura 7.1 a seguir:



**Figura 7-1– Níveis de Aplicação da Semiótica**

Os três níveis mais altos estão direcionados ao estudo da função dos signos para comunicar significados e intenções e as consequências sociais do seu uso. Nos três níveis mais baixos estuda-se como os signos são estruturados e utilizados na linguagem – como são organizados e transmitidos – que propriedades físicas eles têm.

Na semiótica organizacional de Liu, os diferentes níveis são analisados por meio de métodos específicos, tais como a análise de informação, modelos morfológicos, análise semântica e análise de normas. Estes métodos permitem uma modelagem sob diversos pontos de vista – todos eles detalhando diferentes características semióticas em relação ao uso de signos na organização.

A principal ferramenta da semiótica organizacional, segundo Liu, é a ferramenta MEASUR (Methods for Eliciting, Analysing and Specifying User's Requirements), um conjunto de métodos orientados a normas para a modelagem de negócios e especificação de requisitos de software. A ferramenta MEASUR constitui-se de 5 grandes métodos utilizados para a modelagem de negócios:

**Métodos para Articulação do Problema:** Métodos que podem ser utilizados em fases iniciais de modelagem, que ajudam o designer na identificação de elementos para os quais seja interessante voltar a atenção. Abrange 4 sub-métodos:

- Definição da Unidade do Sistema
- Framework de Avaliação
- Análise Colateral
- Morfologia do Sistema

**Método da Análise Semântica:** Ajuda a detalhar os elementos encontrados com os métodos anteriores.

**Método da Análise de Normas:** Possibilitam a especificação de padrões gerais comportamentais dos agentes que participam do sistema organizacional, por meio da análise das regularidades comportamentais e sua especificação na forma de normas de comportamento.

**Análise do Controle e Comunicação:** Analisa os diferentes tipos de comunicação entre os agentes participantes da organização, por meio da categorização das mensagens trocadas entre eles.

**Análise Meta-Sistêmica:** Observa a organização de um ponto de vista externo, permitindo uma visão de suas interações com outras organizações, em um nível hierárquico superior.

### 7.3 Os Sistemas de Processamento Cognitivo Semióticos de Rieger

Uma outra contribuição à área de semiótica computacional é dada pelo Prof. Burghard Rieger, da Universidade de Trier na Alemanha. O Prof. Rieger começou seus estudos em semiótica computacional, a partir de uma vertente muito particular da semiótica, que é a linguística. Originalmente trabalhando dentro do contexto da chamada linguística computacional, Rieger acabou por estender seus estudos a um escopo mais abrangente, abarcando não somente textos, mas tentando explicar como textos poderiam ter significado dentro de um escopo realmente semiótico.

Textos em linguagem natural são uma maneira flexível e eficiente de representar conhecimento, largamente utilizada por seres humanos para se comunicarem entre si. Este tipo de representação utiliza-se de sequências de palavras formando sentenças e produzindo textos, cujo significado se supõe transmitir, designar, referir ou lidar com tópicos e sujeitos, entidades e domínios, estruturas e processos do mundo real. Dentre as áreas do conhecimento que estudam este tema, encontramos as áreas da Linguística, Linguística Computacional (LC) e a Semiótica Computacional (SC), que pode ser vista como um ramo recente da Inteligência Artificial.

Uma peculiaridade interessante da Semiótica Computacional, quando estudando representações textuais, é que esta, ao contrário da linguística computacional, não se limita a uma análise dos textos enquanto meras sequências de símbolos (ou seja, focalizando seu aspecto sintático), nem tampouco (como ocorre na inteligência artificial clássica) à descrição do conhecimento na forma de regras criando bases de conhecimento. Uma das contribuições interessantes de Rieger é tentar modelar "conhecimento" não por meio de estruturas estáticas que podem ser abstraídas e representadas simbolicamente (ou seja, a visão cognitivista clássica), mas sim por meio de estruturas de armazenamento de informações adaptáveis, com processos dinâmicos operando sobre estas que são modelados como procedimentos, e implementados como algoritmos. Assim, Rieger entende estruturas semânticas como processos emergentes em sistemas auto-organizáveis.

Rieger chama a essa classe de sistemas de "Sistemas de Processamento de Informações Cognitivas Semióticas" (SCIPS, do inglês **Semiotic Cognitive Information Processing Systems**) [RIEGER 1995; RIEGER 1995B]. Em seus SCIPS, Rieger estuda o aparecimento de estruturas sígnicas como processos auto-organizados baseados em restrições combinatoriais e seletivas que devem ser universais a todas as linguagens. Rieger reconhece dois tipos de entradas em sistemas cognitivos. As entradas imediatas, que dão origem a cognições imediatas correspondem aos fenômenos diretos observados em um ambiente por um sistema cognitivo. As entradas mediadas, ao contrário, são aquelas proporcionadas por textos, ou seja, signos que remetem a outros fenômenos que não estão presentes à experiência do sistema no exato momento em que são capturados. Para que as entradas mediadas possam adquirir significado, é necessário que algum procedimento de constituição de significado seja aplicado a elas, de forma que uma cognição adequada possa surgir no sistema cognitivo. Rieger sugere que essa

constituição de significado pode ser implementada por meio da análise da regularidade com que diferentes termos surgem em "Jogos de Linguagem" entre diferentes sistemas cognitivos, usando o ambiente como meio de comunicação e seus fenômenos como contexto [RIEGER 1995]. Assim, sua proposta é aplicar algoritmos de análise de textos que operam em diferentes níveis medindo as relações sintagmáticas e paradigmáticas em fragmentos de texto trocados entre SCIPS atuando sobre um mesmo ambiente.

Algumas definições trazidas por Rieger podem ser interessantes, como por exemplo a noção de "atualização" [RIEGER 1998]. Rieger chamada de atualização ao processo por meio do qual um fragmento de texto é interpretado, atuando sobre parâmetros internos do SCIP (que é um sistema dinâmico) e causando sua mudança.

Fazendo entretanto uma avaliação geral do trabalho de Rieger, poderíamos dizer que o mesmo ainda não atingiu uma maturidade equivalente aos trabalhos de Pospelov ou de Pendergraft. Seus textos trazem alguns insights bastante interessantes, mas seus procedimentos computacionais são praticamente derivados de procedimentos de análise quantitativa de textos em linguística computacional, não aderindo ainda às propostas mais amplas sugeridas por sua visão de sistema SCIP. Entendemos que se trata de uma proposta muito promissora, mas que necessita ainda evoluir para se tornar factível como uma proposta computacional aplicável por exemplo no desenvolvimento de agentes semióticos.

## 7.4 Os Agentes Semióticos de Rocha-Joslyn

Outra abordagem muito interessante encontrada na literatura é desenvolvida por Cliff Joslyn e Luís Rocha no Los Alamos National Lab. no Novo México, EUA. Sua abordagem é fortemente inspirada na compreensão de sistemas biológicos como sistemas complexos e portanto sedimentada na busca de uma melhor compreensão do comportamento de tal classe de sistemas. Uma noção básica que é utilizada recorrentemente tanto nos trabalhos de Rocha como de Joslyn (que são pesquisadores independentes, apesar de diversas afinidades), é a idéia de "fecho semântico" (ou *semantic closure*), como colocada originalmente por Pattee [PATTEE 1982; PATTEE 1995].

O processo de semiose é identificado (tanto por Rocha como por Joslyn) como o fecho semântico que se forma entre um agente e seu ambiente, no sentido de que as ações realizadas por um agente serão percebidas por seu próprio mecanismo de percepção, e portanto constituem um fenômeno auto-referencial - ou *loop sistêmico*, que seria a essência do processo de semiose. Assim, tanto Rocha como Joslyn entendem que para inserir semiose em um sistema, basta que existam tais loops sistêmicos nestes sistemas.

Podemos encontrar na literatura diversos trabalhos de Joslyn e Rocha que tocam de maneira mais direta ou menos direta com o fenômeno de semiose em teoria de sistemas. Por exemplo, em [JOSLYN 2001], Joslyn introduz a idéia de fecho semântico no contexto de teoria de sistemas e cibernética. Diferentes tipos de sistemas de controle são analisados, tentando-se focalizar nas relações semióticas e nas restrições que são daí ocasionadas (lembrando-se que para Joslyn a idéia de semiose se coaduna com a idéia de fecho semântico). O conceito de fecho semântico permite que Joslyn defina procedimentos de seleção como níveis meta-sistêmicos necessários para a obtenção de relações semânticas (semióticas ?) em sistemas de controle. Em [JOSLYN & ROCHA 1998], Joslyn e Rocha desenvolvem

uma taxonomia para a representação de incertezas, capturando tanto os aspectos sintáticos como semânticos do fenômeno da incerteza, envolvendo diversas considerações semióticas. Em [JOSLYN & ROCHA 2000], ambos fazem uma análise de organizações sócio-técnicas como sistemas multi-agentes, onde cada agente poderia ser encarado como um agente semiótico, ou seja, agentes onde o fenômeno de "fecho semântico" ocorre. Estes agentes semióticos são entidades geradoras de decisões que se comunicam por meio do intercâmbio de mensagens, que são encaradas como "tokens" semióticos. Neste artigo, ambos discutem aspectos referentes ao design de tais agentes semióticos em ambientes artificiais, tais como a necessidade da criação de uma "física virtual" regulando o ambiente, de tal forma a permitir o fenômeno de auto-organização, o estabelecimento de relações de controle generalizado entre os agentes, bem como o desenvolvimento de mecanismos locais de comunicação para o compartilhamento de conhecimento entre a comunidade de tais agentes.

A ênfase dos autores é no desenvolvimento de estratégias de modelagem de sistemas multi-agentes levando em consideração o fenômeno de emergência de comportamentos, tal qual se estuda nas áreas de sistemas complexos e vida artificial. Em [ROCHA 2001], Rocha faz uma análise dos Sistemas de Símbolos Físicos (**Physical Symbol System - PSS**) de Newell e Simon [NEWELL & SIMON 1976; NEWELL 1980; NEWELL 1982], concluindo que a argumentação de Newell e Simon não contribui em nada para o problema da origem da representação em símbolos. Segundo eles, Newell e Simon não fazem uma distinção clara entre o fenômeno simbólico e o fenômeno material, sendo que a teoria de Pattee seria mais razoável que o PSS para explicar o fenômeno simbólico. A argumentação de Rocha é baseada em conceitos extraídos da biosemiótica, onde as considerações semióticas concernentes ao estudo de signos e símbolos deve ocorrer sobre três dimensões básicas:

- *Sintática*: operações baseadas em regra entre signos de um sistema de signo
- *Semântica*: relação entre os signos e o mundo externo ao sistema de signos
- *Pragmática*: avaliação do signo com relação aos propósitos de seus usuários [MORRIS 1946; MORRIS 1971].

Em [ROCHA 1998], Rocha investiga os aspectos semióticos na biologia e na genética, analisando os códigos envolvidos em operações sobre material genético. Em sua análise, ele faz um contraste interessante entre os caracteres físicos ou materiais das substâncias, e seu comportamento, no caso determinado por suas propriedades químicas, criando um código simbólico. Nesta análise, ele deriva diversas operações que podem ser vistas como operações computacionais, e que poderiam ser utilizadas em sistemas semióticos sintéticos.

Fazendo uma crítica construtiva ao trabalho de Rocha e Joslyn, poderíamos dizer que, do ponto de vista da contribuição à semiótica computacional, o mesmo encontra-se ainda incipiente para proporcionar a construção de um agente realmente semiótico. Apesar dos diversos insights que seu trabalho proporciona, fica a sensação de que uma teoria mais elaborada, amalgamando as diversas contribuições apresentadas, ainda precisaria ser desenvolvida.

## 7.5 Os Sistemas Intelectuais de Perlovsky

Outra contribuição interessante à área de semiótica computacional advém do trabalho de Perlovsky [PERLOVSKY 1998A, PERLOVSKY 1998B; PERLOVSKY 2000], onde o autor faz diversas disgressões sobre diferentes aspectos onde conceitos oriundos da ciência cognitiva e da semiótica podem ter algum impacto no desenvolvimento de sistemas computacionais artificiais. Em [PERLOVSKY 1998A], ele argumenta que o fenômeno estético ainda não teve seu papel devidamente considerado na descrição matemática do fenômeno da intelectualidade. Segundo sua argumentação, para que isso ocorra, é necessário fazermos uma distinção entre emoções e pensamento. Emoções devem interferir no processo de pensamento, e o pensamento deve ser visto como um processo dinâmico em que conceitos e emoções estão inerentemente envolvidos. O pensamento pode ser visto como um processo de realizar inferências lógicas e avaliação lógica de regras. As emoções, estão relacionadas a sinais utilizados para detonar instintos básicos, que devem interferir no processo de pensamento. Emoções e pensamento estão relacionadas em um tipo específico de instinto, o instinto pelo aumento do conhecimento. Este instinto nos impulsiona a modificar nosso modelo interno do mundo de modo a adaptá-lo e direcioná-lo para o aumento do conhecimento que temos a respeito do mundo. Perlovsky fala ainda de como o conceito do belo (ou de beleza - entendida como a busca pela regularidade do mundo), pode ser útil na modelagem do conhecimento. Perlovsky, seguindo Morris e Gudwin [GUDWIN 1996] (também por meio de comunicações pessoais), compreende três tipos de signos:

- **Designativo:** descrito por modelos internos
- **Apraisivo:** descrito por medidas de similaridade
- **Prescritivo:** descrito por leis de adaptação e outros atos comportamentais.

Perlovsky enfatiza a integração inseparável destes três tipos de signos no processo de percepção e cognição. Para prover os cálculos matemáticos que envolvem estas considerações, Perlovsky desenvolveu sua teoria dos campos de modelagem (Modeling Field Theory), descrita de maneira detalhada em [PERLOVSKY 2000].

Em [PERLOVSKY 1998B], Perlovsky faz uma análise dos fenômenos da percepção e da cognição tanto do ponto de vista da matemática como da psicologia, chegando a conclusão que suas estruturas são similares.

A percepção tanto está relacionada aos modelos de conceitos em nossas mentes como a sub-conjuntos de dados sensoriais adquiridos sobre o mundo. A cognição envolve exatamente o estabelecimento de uma correlação entre estes. Processos envolvendo a manipulação e a transformação de signos são vistos como o elemento chave para explicar o funcionamento de tais processos. Para exemplificar suas idéias, Perlovsky desenvolve um sistema inteligente de busca de metas militares (intelligent target tracker), que foi implementado em um projeto conjunto entre a força aérea e a marinha americana.

Em seu livro [PERLOVSKY 2000], Perlovsky faz uma série de especulações, que se seriamente desenvolvidas, poderão levar no futuro à criação de agentes semióticos inteligentes utilizando infraestrutura a semiótica. Entretanto, para um comportamento mais elaborado de tal agente, Perlovsky não vai muito além da especulação.

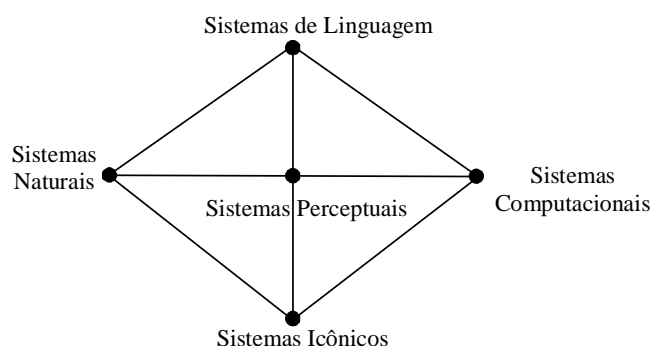
## 7.6 A Abordagem Ecológica Semiótica de Prueitt

Por fim, como último autor a ser analisado aqui, temos as contribuições de Paul Prueitt à semiótica computacional. Prueitt depara-se com um problema bem pragmático que é o problema da gerência do conhecimento. Esse problema pode ser explicitado basicamente pela compreensão de que em organizações empresariais, diversos tipos de conhecimentos estão implicitamente envolvidos: conhecimentos relacionados ao processo produtivo, ao processo de gerenciamento, conhecimentos relativos ao mercado e aos competidores, conhecimentos técnicos e conhecimentos sobre pessoas. Em empresas reais, esse conhecimento se encontra distribuído nas mentes dos diversos tipos de empregados que participam da empresa, sendo que muitas vezes é só aí que ele se encontra. Caso o empregado deixe a estrutura organizacional da empresa, esta perde esse conhecimento. O gerenciamento do conhecimento visa a aquisição, estruturação, armazenamento e a criação de metodologias de acesso a esse conhecimento, de tal forma que uma empresa não fique dependente somente de seus empregados para o gerenciamento do conhecimento necessário à gestão de seu funcionamento. Tradicionalmente, algumas técnicas vêm sendo desenvolvidas para dar suporte ao gerenciamento de conhecimento, desde o já tradicional banco de dados com informações da empresa, até técnicas mais recentes envolvendo a Internet, o World Wide Web e técnicas para o armazenamento e recuperação temática de documentos. Estas técnicas têm uma série de deficiências, que são as mesmas apontadas na inteligência artificial clássica e abordadas no capítulo 1 desta tese.

A principal contribuição de Prueitt à semiótica computacional visa exatamente a uma renovação nas técnicas atuais de gerenciamento do conhecimento, utilizando a semiótica como paradigma de suporte. Em [PRUEITT 1999], Prueitt desenvolve o que considera um conjunto de novas metodologias, baseadas em semiótica, para a criação de uma nova geração em tecnologia da informação - chamada por ele de "Gerenciamento do Conhecimento no Século 21".

Prueitt utiliza em seus desenvolvimentos, diversas idéias oriundas da semiótica aplicada de Pospelov (vide capítulo 4), bem como da Teoria Quasi Axiomática de Victor Finn [PRUEITT 1999], e da neurociência.

Prueitt faz uma comparação entre os diversos tipos de sistemas capazes de investigação, sumarizados na figura 7.2 abaixo:



**Figura 7-2 - Tipos de Sistemas Capazes de Investigação**

Prueitt vê uma grande diferença entre os sistemas naturais e os sistemas computacionais, caracterizando tal diferença por meio do eixo horizontal da figura.



Da mesma maneira, ele vê uma grande diferença entre os sistemas que utilizam a linguagem como modelo de descrição do mundo (chamados de sistemas de linguagem) em comparação com os sistemas que utilizam representações icônicas ou analógicas para descrever o mundo (chamados de sistemas icônicos). Prueitt representa essa diferença no eixo vertical da figura 7.2. Fazendo um balanço entre essas diferenças, Prueitt propõe o conceito de sistemas perceptuais, que tenderiam a ser um meio termo entre os sistemas naturais e os sistemas computacionais, e os sistemas de linguagem e os sistemas icônicos. Na verdade o que Prueitt almeja é um tipo de sistema que promova o hibridismo entre todas estas classes de sistemas, de modo a aproveitar as conveniências que cada tipo de sistema oferece, sem as limitações que lhe são peculiares.

Entretanto, a proposta de Prueitt está longe de ser clara em termos de demonstrar como esses sistemas perceptivos poderiam realmente ser constituídos. Apesar de apontar diversos diferentes caminhos que poderiam ser seguidos neste sentido, muita coisa fica ainda no nível especulativo, precisando de uma complementação para que se consolide como tecnologia. Desta forma, as idéias de Prueitt precisariam ser talvez ainda um pouco mais amadurecidas para se transformarem naquilo que ele desejaria: uma nova tecnologia para o século 21.

## 7.7 Resumo

Neste capítulo, consideramos diversas outras abordagens de contribuição à semiótica computacional encontradas na literatura. Na visão do autor desta tese, apesar dos diversos insights que cada uma delas coloca, não existe ainda uma teoria madura que alinhe e dê sustentação a uma formalização da semiótica computacional. Desta forma, essas contribuições podem ser colocadas sob uma classificação menor, quando comparadas aos trabalhos de Pospelov, Pendergraft e Meystel - principalmente por não tratarem do aspecto do processo de semiose como um todo, mas enfocando somente aspectos parciais.

# 8. Semiônica e Síntese Semiótica

## 8.1 Introdução

Neste capítulo, faremos uma descrição geral do que é a "semiônica" - o principal subproduto desta tese, e como esta se propõe a ser uma possível tecnologia para a síntese semiótica - ou seja uma contribuição à semiótica computacional. Esta tecnologia encontra suas origens em [GUDWIN 1996], onde apresentou-se uma proposta para a utilização da semiótica no estudo de sistemas inteligentes, principalmente no que tange ao uso de signos e seu processamento de modo a gerar um modelo geral para sistemas inteligentes. A busca por um paradigma de síntese semiótica evoluiu a partir de diversas propostas [GUDWIN & GOMIDE 1997A, GUDWIN & GOMIDE 1997B, GUDWIN & GOMIDE 1997C, GUDWIN & GOMIDE 1999, GUDWIN 1999B], chegando a uma estrutura atual mais sólida em [GUDWIN, 2001]. Entretanto, diversos problemas terminológicos acabaram demandando uma re-estruturação dos conceitos lá desenvolvidos, sendo os mesmos introduzidos pela primeira vez nesta tese. Dentre outros problemas, uma crítica da comunidade da semiótica, ressaltando que a semiônica é "um" modelo possível para síntese semiótica, e não um modelo geral a ser utilizado para qualquer tipo de síntese semiótica. Assim, teremos o cuidado de ressaltar aqui que a semiônica corresponde a uma possível solução para o paradigma de síntese semiótica, e não um modelo geral que todo processo de síntese semiótica deveria seguir.

Mas antes de dar continuidade à descrição da semiônica, vamos primeiro explanar exatamente sobre o que consiste a síntese semiótica e qual a razão de seu interesse na comunidade de semiótica computacional. A síntese semiótica tem por objetivo básico a síntese e simulação do processo de semiose em computadores digitais. Assim, sua principal meta é a construção de Sistemas Autônomos Inteligentes, capazes de manifestar comportamentos inteligentes, que como no modelo Albus-Meystel, incluem percepção, modelo do mundo, julgamento de valores e geração de comportamento. A principal premissa por detrás de um paradigma de síntese semiótica é a de que grande parte do comportamento inteligente em seres autônomos deve-se ao processamento de signos ocorrendo dentro deles. Neste sentido, um sistema inteligente pode ser visto e estudado como um Sistema Semiótico, onde o processamento de signos pode ser visto como a fonte da inteligência exibida pelo sistema.

Usualmente, a semiótica é utilizada em um contexto de análise. Ou seja, observa-se um fenômeno natural onde existe processamento sígnico, e busca-se abstrair como esse processamento se dá. Para o desenvolvimento de sistemas inteligentes, entretanto, essa estratégia não é adequada. Ao contrário do uso normal de semiótica em ciências humanas, o intuito aqui é a “síntese” de processos semióticos em sistemas artificiais. Assim, o intuito de se estudar a síntese semiótica é permitir a compreensão computacional sobre o que seriam **signos**, **objetos**, **interpretantes** e intérpretes, termos usuais da semiótica tradicional, em sistemas artificiais.

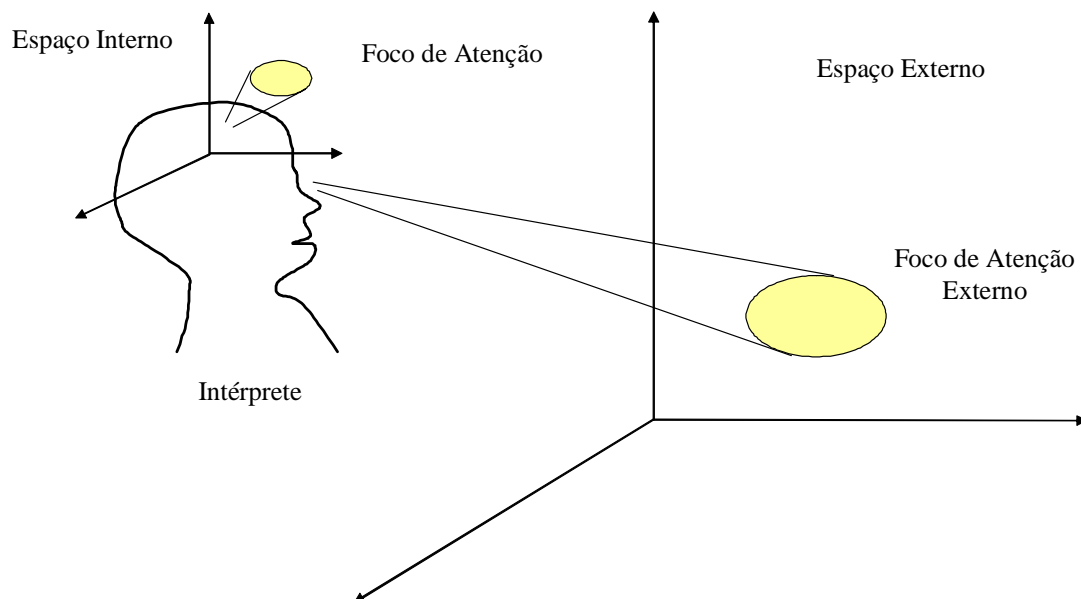
Os principais passos a serem adotados para que uma proposta de síntese semiótica se concretize são os seguintes [GUDWIN 2001]:

- definição de um cenário básico para a discussão de síntese semiótica
- compreensão de como ocorre o processo semiótico dentro de um intérprete natural
- criação de uma versão computacional de processos semióticos

Veremos mais a frente que a semiônica corresponde a uma visão computacional do processo de semiose. Trata-se portanto de uma visão bem específica, com objetivos bem formulados - qual sejam - a implementação artificial de processos de semiose para o desenvolvimento de mentes artificiais [FRANKLIN 1995; HAUGELAND 1997; HOFSTADTER 1995] para agentes de software. Mas antes de entrar nos detalhes da semiônica, vamos introduzir alguns conceitos básicos necessários para compreendermos o processo de síntese semiótica.

## 8.2 Intérprete e Espaço de Representação

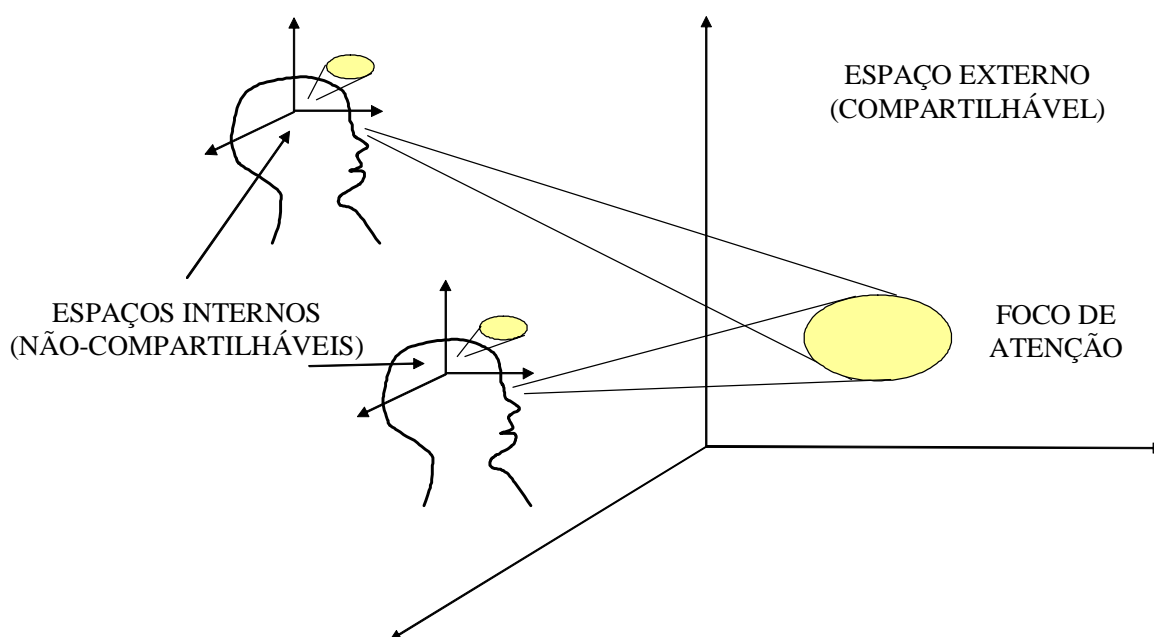
Nossa descrição do processo de síntese semiótica tem início com a introdução das noções de intérprete e de espaços de representação. A figura 8.1 a seguir ilustra estes conceitos.



**Figura 8-1 - Espaços de Representação**

Antes que se possa descrever o processo de semiose, segundo o ponto de vista da síntese semiótica, é necessário que se defina a arena onde esse processo se realizará, bem como o sujeito semiótico, ou seja, aquele onde o processo de semiose será instanciado. Essa arena onde se dá o processo de semiose corresponde aos espaços de representação. Na Figura 8.1 acima podemos observar dois espaços básicos de representação: o espaço externo e o espaço interno. Veremos, a seguir, que o processo de semiose poderá envolver atividades em ambos os espaços. É necessário distinguirmos o espaço externo do ambiente em si. O conceito de espaço externo diz respeito somente a um espaço como um sistema de coordenadas para a localização de pontos. Assim, poderíamos talvez dizer que o ambiente existe no espaço externo, mas não se identifica com ele. O espaço interno corresponde a uma segunda arena onde o processo semiótico pode ocorrer. Em princípio, esse espaço corresponde a um espaço mental, onde signos serão armazenados e utilizados.

O sujeito do processo semiótico é chamado de intérprete. Entendemos o intérprete como o ser semiótico onde o processo de semiose se manifestará. O conceito de intérprete é fundamental para analisarmos o processo da semiose sob a ótica da síntese semiótica. Embora muitos especialistas em semiótica digam que é possível se prescindir do intérprete para a modelagem da semiose, no caso da síntese semiótica isso não é possível, pois o intérprete é exatamente o sujeito que se deseja construir artificialmente, onde se dará o processo de semiose. O intérprete é portanto parte do meio ambiente, e vive imerso nele, sendo sua função encontrar informação por meio de sensores e atuar por meio de atuadores. Este também é capaz de atuar internamente, modificando sua configuração interna, quando necessário.



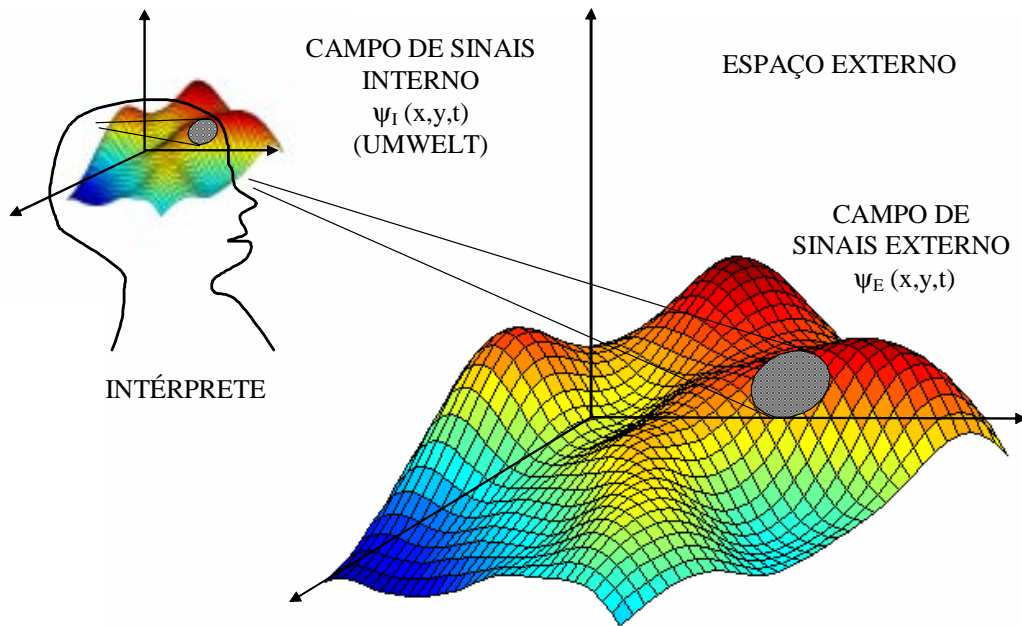
**Figura 8-2 - Espaços Compartilhável e Não-Compartilháveis**

O mecanismo padrão por meio do qual o intérprete assimila informações do ambiente é o mecanismo de foco de atenção. Esse mecanismo pode ser externo, quando seleciona uma região do espaço externo, ou interno quando seleciona uma região do espaço interno. Uma característica importante ligada ao mecanismo de foco de atenção é que a quantidade de sensores e atuadores que um intérprete pode

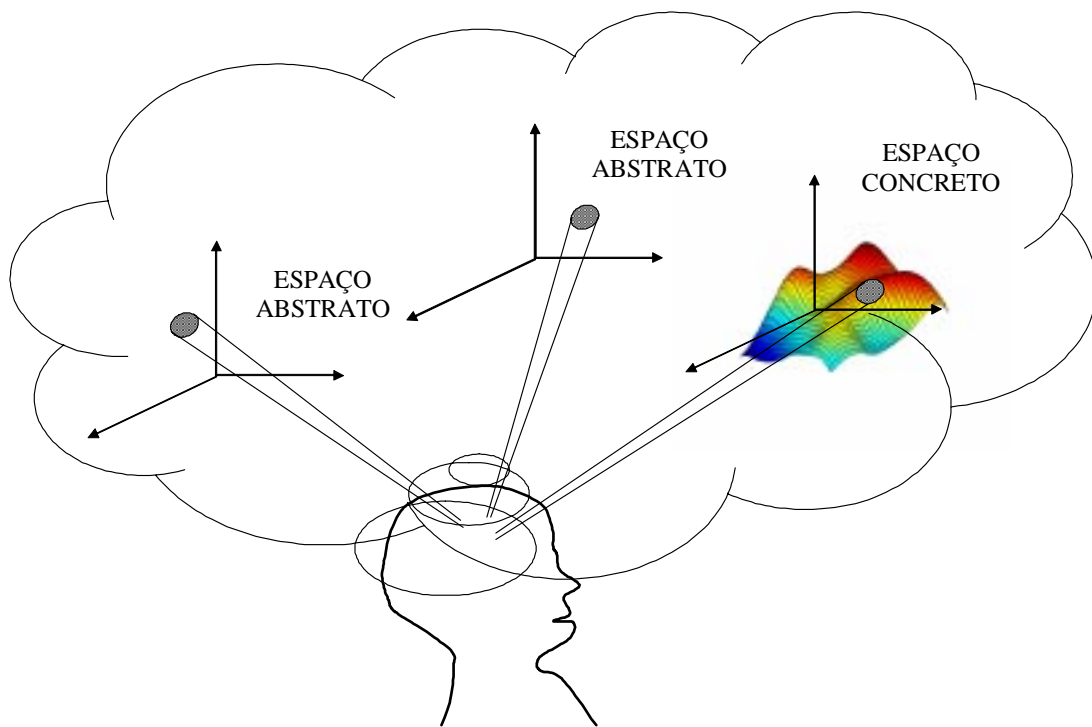
ter é limitada, quando comparada com a quantidade de sinais que poderiam ser medidos do meio. Com isso, é necessário que esses sensores e atuadores possam se movimentar ao longo dos espaços de representação, de tal forma a dar uma cobertura maior do que a que seria possível com sensores fixos. Da mesma forma, em determinadas situações, pode ser interessante concentrar a atenção em regiões específicas do espaço de representação, onde algum fenômeno mais importante pode estar acontecendo. Assim, o mecanismo do foco de atenção permite que isso seja possível. Uma característica importante dos espaços de representação é sua capacidade de compartilhamento. Conforme podemos observar na Figura 8.2, os espaços podem ser compartilháveis ou não compartilháveis. O espaço externo é compartilhável por definição. Isso significa que os fenômenos que nele porventura ocorram podem ser compartilhados por múltiplos intérpretes. O espaço interno, ao contrário, não é compartilhado. Ou seja, o espaço interno armazena fenômenos que são da alçada particular de cada intérprete.

Normalmente, o espaço interno, por ser um espaço mental, é mais eficiente para o processamento semiótico, pois não está sujeito às mesmas leis físicas que regem a dinâmica do espaço externo. Entretanto, o compartilhamento que é propiciado pelo espaço externo é de fundamental importância para o fenômeno da comunicação, pois é através dele que mensagens entre intérpretes podem ser trocadas, permitindo que essa comunicação entre intérpretes se efetive.

A motivação para que se defina os espaços de representação é a idéia de que esses espaços podem acomodar sinais. Esses sinais irão constituir o que chamamos de um campo de sinais. Um campo de sinais pode ser definido [GUDWIN 2001] como uma função  $\psi(x,y,t)$  que a cada ponto do espaço/tempo associa um determinado sinal, representando um estado. Para cada espaço de representação assume-se que existe um correspondente campo de sinais (Figura 8.3). O campo de interpretação correspondente ao espaço externo é um campo de interpretação contínuo (trata-se do mundo real) e, por conseguinte, ele não pode ser conhecido em sua plenitude. Entretanto, pode armazenar informações que serão utilizadas pelas entidades semióticas como espécies de memórias externas. Os espaços internos normalmente acomodam modelos do campo de interpretação externo. Ao contrário do campo de interpretação externo, os campos de interpretação internos são funções que dependem do tipo de síntese semiótica que tentamos modelar. Assim, podemos criar campos de interpretação mais simples ou mais sofisticados, dependendo da sofisticação do intérprete que estamos a sintetizar.



**Figura 8-3– Campos de Sinais**



**Figura 8-4 - Múltiplos Espaços Internos e Campos de Sinais**

De uma maneira ideal, não estamos limitados a ter somente um espaço de representação interno. Na verdade, muitas vezes será muito conveniente considerarmos diversos espaços internos e diversos campos de interpretação internos com finalidades distintas, conforme ilustrado na Figura 8.4. Um dos espaços internos pode conter em seu campo de interpretação nosso melhor modelo do campo de interpretação externo. Este, normalmente é chamado de espaço concreto, contendo uma imagem de nosso Umwelt [GUDWIN 2001], ou seja, nosso ambiente sensível. Os outros espaços podem ser denominados genericamente de

espaços abstratos. Em geral, os espaços internos e os campos de interpretação internos dependem do tipo de síntese semiótica que estamos tentando modelar.

Uma vez de posse dos conceitos apresentados até agora, podemos desenvolver conclusões importantes. Por exemplo, o campo de sinais externo usualmente é modelado como sendo infinito, contínuo e assumindo valores em um conjunto contínuo (estamos falando do nosso mundo real – ou o que podemos conhecer dele). Este campo só pode ser conhecido por meio de sensores, e mesmo assim nunca em sua totalidade – só em partes - e ainda com aproximações. Assim, nossos sensores são dirigidos e controlados por nosso foco de atenção. Isto é, ao direcionarmos nosso foco de atenção em alguma região do espaço externo, estamos na verdade posicionando nossos sensores nesta região. De posse destes conceitos fundamentais, estamos preparados para compreender o processo de semiose, segundo a perspectiva da síntese semiótica.

### 8.3 Signos, Interpretantes e Semioses

Em qualquer proposta semiótica, a definição mais importante é a do modelo que se adota para o fenômeno do signo. No modelo da semiótica computacional, adotaremos um modelo pragmático do signo. Esse modelo é, ao mesmo tempo, concreto e abrangente. Um **signo** (na proposta da semiótica computacional) é compreendido como qualquer sinal que esteja posicionado sobre uma região coberta pelo foco de atenção de um intérprete (seja esse foco de atenção sobre um espaço de representação interno ou externo) e que possa causar uma ação do intérprete. As possíveis ações que um intérprete pode adotar nessas circunstâncias são:

- a mudança da região sob os focos de atenção do próprio intérprete (internos e/ou externo), ou seja, a determinação de uma nova região nos espaços de representação de onde se coletará um novo signo a ser interpretado em instante futuro,
- a determinação, para um instante de tempo  $t+\Delta t$ , de um novo valor para os sinais referentes a um dos campos de interpretação (internos ou externo), particularmente localizados em algum ponto  $(x,y,z)$  sob um foco de atenção neste espaço.

Considera-se como sendo o **interpretante** deste signo as seguintes consequências, ocasionadas pela ação do signo:

- qualquer ação causada devido ao signo sob o foco de atenção,
- qualquer mudança no campo de sinais interno ou externo para o tempo  $t+\Delta t$ , causado pela ação disparada no intérprete devido ao efeito do signo.

O **objeto** do signo corresponde a um conjunto de sinais sobre o espaço de representação (interno ou externo), que necessariamente não está sob o foco de atenção do intérprete, mas que causaria o mesmo interpretante, caso o estivesse. Assim, dizemos que o signo representa o objeto, no sentido que gera o mesmo interpretante que o objeto geraria, caso estivesse sob o foco de atenção do intérprete.

A partir das definições de signo, objeto e interpretante, é possível definir-se os conceitos de semiose externa e semiose interna. A semiose externa pode ser entendida como o processo pelo qual um signo, que em princípio pode estar

localizado no espaço externo ou no espaço interno, gera um interpretante que necessariamente está localizado no espaço externo. É importante ressaltarmos que dizer que o interpretante ocorre no espaço externo significa dizer que necessariamente há algum tipo de interferência no ambiente, seja modificando-se o estado deste de alguma maneira, ou alterando-se o foco de atenção do intérprete com relação ao espaço externo. Uma semiose externa pode ocorrer em intérpretes que simplesmente não possuem espaços internos, tais como por exemplo nos casos de reações químicas e outros tipos de interações físicas. Podem entretanto ser o resultado final de uma cadeia de semioses internas. Ou seja, após uma longa cadeia de semioses internas, onde um signo atua somente no espaço mental, finaliza-se por atuar sobre o ambiente por meio de uma semiose externa.

Assim, como de certa forma adiantamos, entendemos uma semiose interna como aquela em que o interpretante do signo localiza-se em algum dos espaços internos do intérprete. Os signos, por si, podem tanto localizar-se no espaço externo como em algum espaço interno. O que caracteriza a semiose como interna é a localização do interpretante. De uma maneira unificada, podemos entender uma cadeia semiótica típica como aquela que começa com um signo externo, gerando um conjunto de interpretantes internos. Estes interpretantes internos, tornam-se por sua vez, signos, gerando novos interpretantes internos, até que algum deles torne-se um signo que gere um interpretante externo. A cadeia pode então atuar sobre o ambiente.

## 8.4 Sinais, Informação, Signos e Conhecimento

Na seção anterior, utilizamos de maneira informal o conceito de *sinal* para definir os conceitos de campo de sinais, signo e interpretante. Fazemos agora uma descrição mais minuciosa do que seriam exatamente esses sinais, e como estão relacionados com os conceitos de informação e conhecimento.

A idéia por trás do conceito de sinal é a idéia de que é possível distinguirmos o estado em que se encontra o campo de sinais para uma determinada localização do espaço-tempo. Assim, somos capazes de associar “valores” a esses estados, e esses valores são então denominados de sinais. Nesse sentido, podemos dizer que os sinais carregam uma *informação*, sem entrar no mérito de como essa informação poderá ser utilizada no futuro. Podemos inclusive compreender o conceito de informação como sendo uma espécie degenerada de significado dos sinais. Sinais seriam então algo como pré-signos, ou protosignos. Vejamos um exemplo do que entendemos por sinais. Por exemplo: suponha-se que  $\psi_E(x,y,z,t)$  tenha um contradomínio  $[0,5]$ . Ou seja, como  $\psi_E$  representa o campo de sinais externo, seus valores são correspondentes aos estados do mundo real. Como o mundo real é, em princípio, contínuo, o campo de sinais pode assumir valores contínuos de 0 até 5. Supondo agora que nesse campo de sinais haja um foco de atenção sobre um único ponto  $(x,y,z,t)$ . O sinal referente a este ponto poderá assumir qualquer valor entre 0 e 5. Suponhamos agora um processo de semiose interna, ocasionado pela presença de um sensor. Esse sensor converterá esse sinal, localizado no espaço externo, em um sinal interno. Suponhamos que, devido a limitações do sensor, ao invés de assumir valores contínuos entre 0 e 5, o campo de sinais interno somente possa assumir valores discretos e inteiros. Com isso, o campo de sinais interno  $\psi_I(x,y,z,t)$  terá como contradomínio o conjunto  $\{0,1,2,3,4,5\}$ . Dessa forma, caso o valor do sinal externo assumia valores de 2.3 ou 2.2, estes serão entendidos internamente



ambos como sendo 2. Assim, a informação conduzida pelos sinais internos limita-se a 6 valores discretos. Observe que cada um desses números é um sinal. Uma característica dos sinais é a de não causar nenhum efeito por si só. Sinais apenas veiculam informação. Quando passam a causar algum tipo de efeito ou ação, como no caso do sensor, eles deixam de ser sinais e passam a atuar como signos. Assim, todo signo tem por base algum conjunto de sinais. A informação carregada pelos sinais é utilizada para determinar a ação que será causada, quando esses sinais forem utilizados como signos. Quando um ou mais conjunto de sinais se convertem em signos, dizemos que a informação por eles conduzida transforma-se em um *conhecimento*. Assim, podemos entender conhecimento como sendo a propriedade que um conjunto de sinais possui de causar algum efeito ou ação por parte do intérprete. É possível portanto fazermos a seguinte correlação:

Sinais ----- Informação  
Signos ----- Conhecimento

Como o campo de sinais cobre todo o espaço de representação (interno ou externo), sempre existe algum tipo de informação armazenada nele. Podemos imaginar esses campos como infinitos (ou finitos, no caso dos espaços internos) campos de informação, onde essa informação pode ser modificada no tempo, à nossa conveniência.

Caso essa informação tenha o poder de ocasionar uma ação ou efeito sobre um determinado intérprete, dizemos então que esses sinais passam a atuar como signos, especificamente para o intérprete que se deixa influenciar por esta informação. Podemos então compreender o processo de semiose como um processo que transforma signos em novos signos.

## 8.5 Semiônica - Uma Proposta de Síntese Semiótica

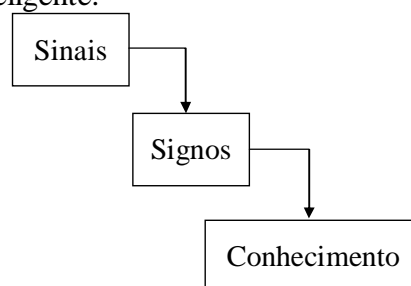
Nesta seção introduzimos mais detalhadamente a semiônica, ou seja, nossa proposta de implementação de um processo de síntese semiótica. Para evitar interpretações errôneas quanto ao escopo da semiônica, estaremos utilizando uma terminologia própria, dedicada às estruturas computacionais que são manipuladas na semiônica. Assim, ao invés de utilizarmos termos como signos, intérpretes, interpretantes, etc..., que são termos genéricos para quaisquer entidades semióticas, sejam elas computacionais ou não, estaremos fabricando uma terminologia própria, distinta porém assemelhada, para evidenciar o aspecto artificial e computacional que tais termos devem assumir. Tal precaução é tomada principalmente em virtude de críticas da comunidade da semiótica a trabalhos como [GUDWIN 2001], onde tais precauções não foram tomadas, o que causou a falsa interpretação de que as estruturas propostas na semiônica seriam de caráter geral, abrangendo inclusive sistemas semióticos naturais (tais como o homem, por exemplo, ou mesmo outros tipos de síntese semiótica que não utilizassem uma base computacional), onde as propostas apresentadas pela semiônica poderiam ser interpretadas como especulações sem fundamentos. De modo a desmanchar este equívoco, criamos portanto uma terminologia própria para a semiônica, que pode então ser vista como uma especialização da semiótica, restrita à área dos sistemas computacionais. Se fizermos uma análise semiótica da semiônica, veremos que ela segue os mesmos princípios gerais da semiótica, mas tendo como escopo puramente o domínio dos sistemas computacionais. Assim, fica evidente a inspiração semiótica na semiônica,

mas não se tem o compromisso de se ter que provar que as estruturas aqui desenvolvidas estariam também ocorrendo em sistemas naturais.

Outras precauções são também necessárias. Apesar de se basear em conceitos oriundos da semiótica clássica, a semiônica apresenta uma proposta bem pragmática que é construída a partir de estratos que vão se sobrepondo uns aos outros. Esses estratos são construídos em função da vocação de síntese computacional a que a semiônica se propõe. Alguns estudiosos da semiótica peirceana, poderiam dizer que as construções da semiônica desvirtuam os princípios da semiótica peirceana. Entretanto, esse desvirtuamento se faz necessário, pois, se a semiótica peirceana se mostra uma ferramenta muito útil para a análise, torna-se um pouco incômoda para a síntese, pois não explica como o processo de semiose pode ser sintetizado em dispositivos artificiais.

Na semiônica, o conceito de signo é construído a partir do conceito de sinais. Alguns puristas *Peirceanos* poderiam dizer que a definição de signo é mais primária que a definição de sinal e que, na verdade, um sinal seria um tipo de signo degenerado. Como os conceitos de sinal e de processamento de sinais são bem conhecidos na engenharia, optou-se por tentar definir o conceito de signo a partir do conceito de sinal. Na verdade, nossa posição é a de que as propostas da semiótica peirceana e da semiótica computacional são equivalentes, existindo assim um mapeamento biunívoco. A única diferença é que a forma da semiótica computacional é mais adequada para a síntese de processos semióticos.

Os estratos a que nos referimos, e que formam o pilar de sustentação da semiônica são os conceitos de sinais, signos e conhecimento, conforme pode ser ilustrado na Figura 8.5. Como pode ser observado, os sinais constituem o substrato para os signos e estes constituem o substrato para a formação dos conhecimentos. Em termos gerais, esta cadeia é a idéia que sustenta a semiônica. Sem a existência dos sinais seria impossível o aparecimento dos signos e posteriormente dos conhecimentos. Este último substrato é muito importante para o desenvolvimento de qualquer sistema inteligente.

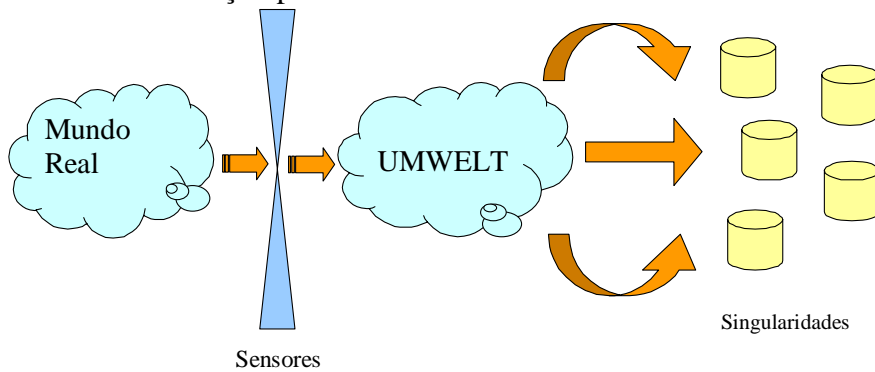


**Figura 8-5 - Cadeia dos Elementos Fundamentais da Semiônica**

### **8.5.1 Signlets**

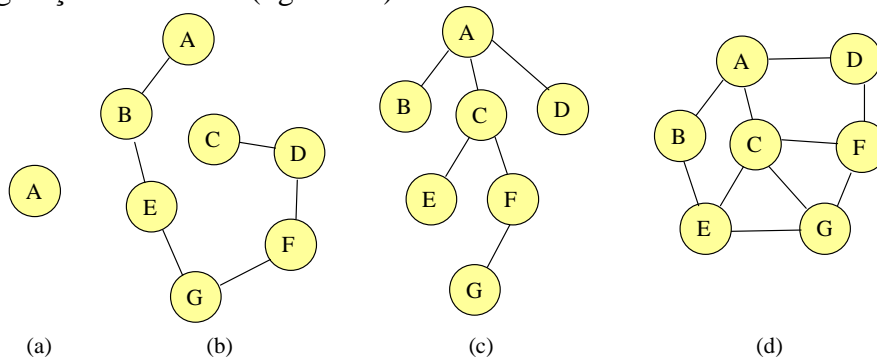
Em sua análise dos tipos de signos, Peirce teve o cuidado de utilizar uma nomenclatura diferenciada para os signos mentais - ou seja, aqueles signos que não podem ser vistos pois encontram-se dentro da mente de intérpretes humanos. Peirce chamou tais signos de fânerons. Esse cuidado se justifica uma vez que estes signos só podem ser examinados por meio de introspecção, sendo portanto uma classe especial de signos e justificando sua nomenclatura diferenciada. Entretanto, apesar desta característica particular, fânerons comportam-se da mesma maneira que outros tipos de signos. Utilizando-nos da mesma estratégia de Peirce, vamos denominar o que seriam nossos signos computacionais por um termo específico:

**signlets.** Assim, da mesma forma que fânerons são os signos que habitam a mente humana, signlets serão os signos que habitam a memória de nossos computadores. Mas nossa analogia pode ser ainda mais forte. Como na semiônica nosso objetivo é reconstruir processos semióticos em sistemas computacionais, podemos conceber que iremos gerar um modelo abstrato de uma “mente artificial” (ou, se quisermos, o sistema de controle de um agente inteligente) como sendo um sistema que processa *signlets*. Signlets seriam portanto correspondentes a fânerons em sistemas computacionais. Esse processamento pode gerar diversas categorias de signlets, utilizando diversos operadores computacionais. De início, vamos considerar que alguns signlets são gerados a partir do sensoramento do mundo real, por um processo que chamaremos de “extração de singularidades” (figura 8.6). Esse mundo real pode ser visto como um conjunto de fenômenos dinâmicos e em paralelo, ao qual não temos acesso direto, a não ser por meio dos sensores. A parte do ambiente que podemos conhecer por meio dos nossos sentidos é denominado *Umwelt* (também chamado de ambiente sensível). O ambiente sensível é a nossa melhor compreensão possível que temos da realidade. Assim, temos de ter em mente que o *Umwelt* não é a própria realidade, mas somente a parte sensível desta realidade, única fonte de informação para o sistema semiótico.



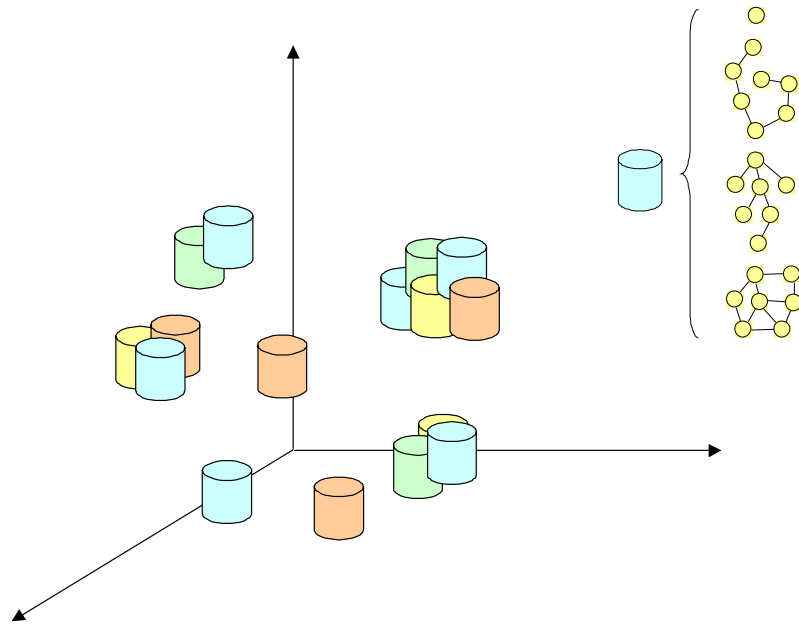
**Figura 8-6- Extração de Singularidades**

Essas singularidades (que correspondem aos signlets) são na verdade clusters de informação agregada que carregam alguma representação sobre os fenômenos do ambiente. São, portanto, entidades discretas modeladas num nível de resolução específico. Assim, estruturalmente falando, os signlets podem assumir diversas configurações diferentes (figura 8.7).

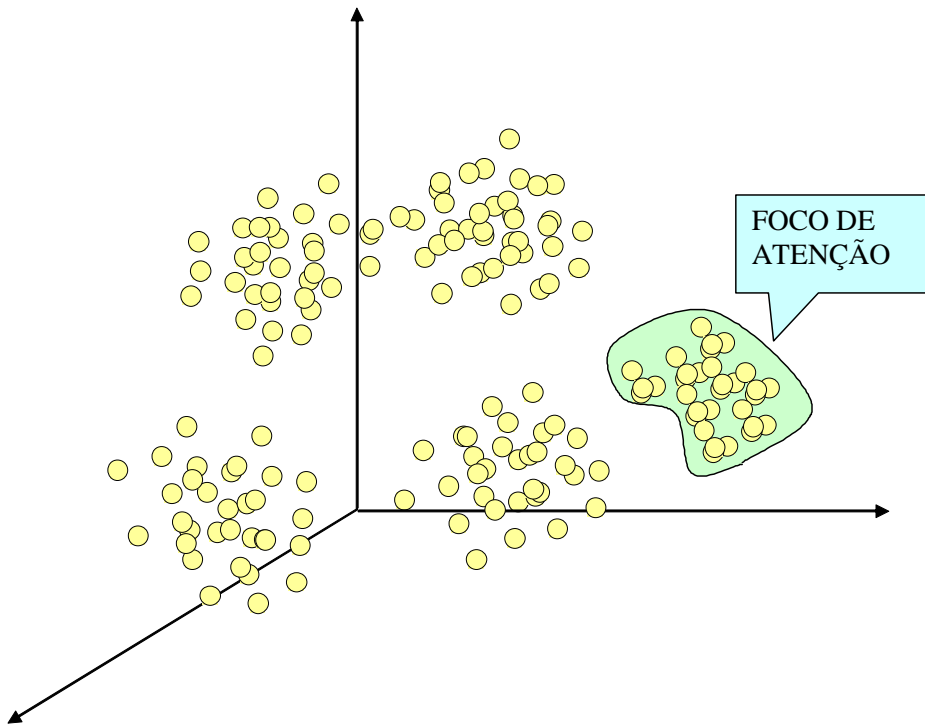


**Figura 8-7 – Estruturações Possíveis para um Signlet**  
**(a) número, (b) lista, (c) árvore, (d) grafo**

Estas estruturas podem ser abstrações matemáticas de diferentes tipos, como mostrado na figura 8.7. Cada estrutura possui um lugar no espaço de representação, conforme a figura 8.8.



**Figura 8-8– Espaço de Representação após a interpretação**

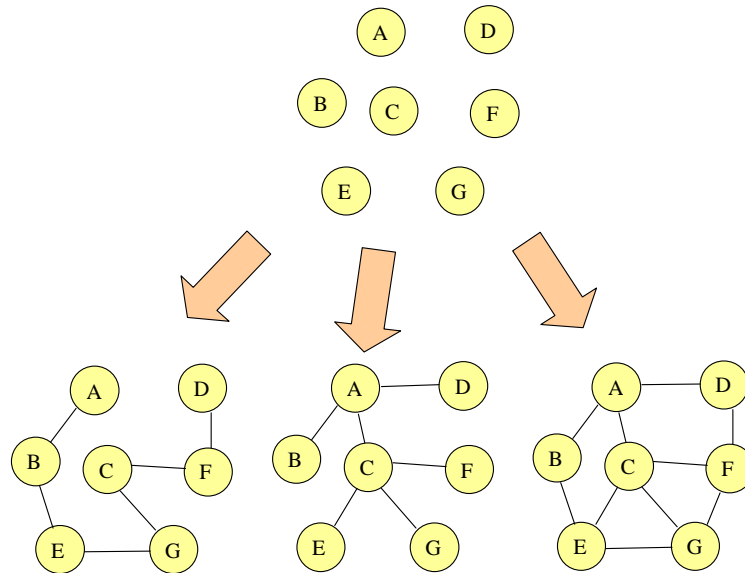


**Figura 8-9 – Foco de Atenção e a Identificação de Estruturas**

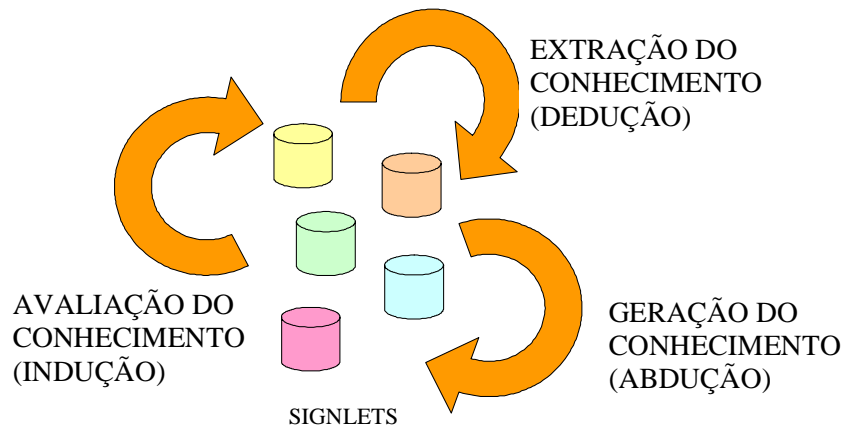
A figura 8.8 exemplifica o espaço de representação após a interpretação. Os conhecimentos obtidos a partir do foco de atenção, como ilustrado na figura 8.8, são encapsulados em estruturas matemáticas. Antes da interpretação o espaço de

representação é composto de um conjunto de valores ocupando um lugar no espaço (figura 8.9).

Um primeiro problema de identificação é ilustrado na figura 8.10. Como um determinado grupo de valores, encampados pelo foco de atenção, será interpretado? Este problema é denominado problema de identificação estrutural. Um segundo problema surge a partir da identificação da estrutura que está sobre o foco de atenção. Uma vez identificada, qual a semântica da informação codificada na estrutura?



**Figura 8-10 – Problemas da Interpretação**



**Figura 8-11– Operadores do Processo de Semiose**

Aqui podemos trazer da semiótica os conceitos de ícone, índice e símbolo. Caso os dados representados pela estrutura do signlet se refiram a um modelo direto do fenômeno ambiental, este signlet é denominado um ícone. Caso esses dados sirvam para a obtenção da localização de outra estrutura no espaço de representação, trata-se de um índice. Finalmente se a informação é uma chave para uma tabela de conversão, por exemplo, estamos lidando com um símbolo. Neste último caso será necessário o uso de uma tabela de conversão, que pode ser outra estrutura no espaço de representação.

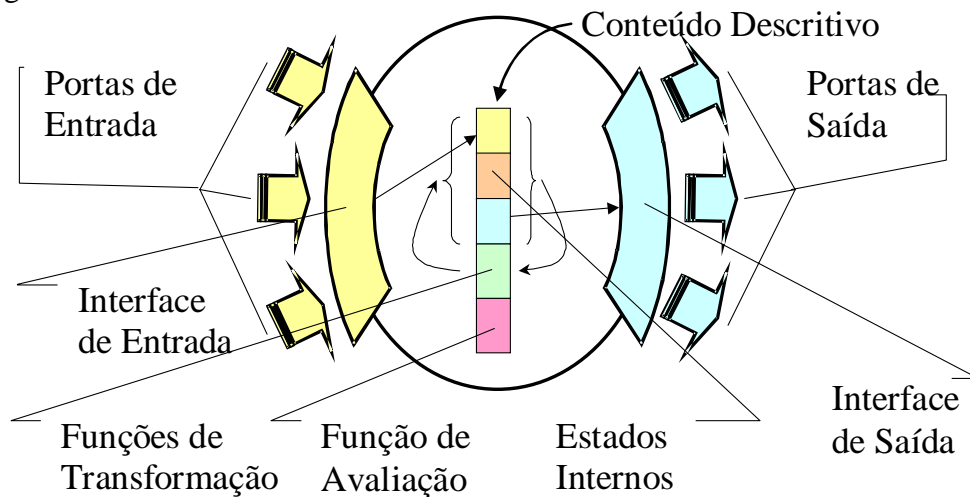
Os operadores de transformação de signos, que transformam signlets em outros signlets são basicamente os operadores de dedução, indução e abdução,

conforme a interpretação semiótica destes termos. Na semiônica, fazemos uma abstração destes termos denominando-os de operadores de extração de conhecimento, avaliação de conhecimento e geração de conhecimento. Estes operadores atuam recursivamente sobre os signlets, conforme ilustrado na figura 8.11.

A consideração de como os processos de dedução, indução e abdução são aplicados aos signlets levou ao desenvolvimento do conceito de *interpreton*, ou intérprete semiótico computacional. A idéia é que um *interpreton* seja capaz de realizar o tipo mais básico de semiose, sobre o qual processos semióticos mais sofisticados possam ser desenvolvidos por meio da interação entre diversos interpretons e signlets.

### 8.5.2 Interpretons

A idéia de um interpreton é apresentada de maneira pictórica na figura 8.12 a seguir:



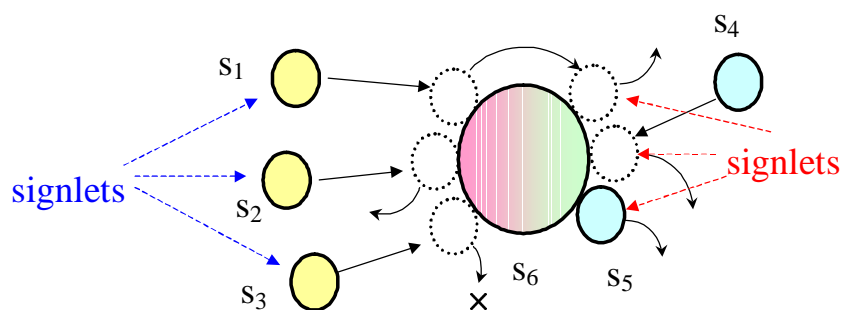
**Figura 8-12 - Modelo Genérico de um Interpreton**

A parte estrutural de um interpreton (conforme mostra a figura 8.12 acima), é seu conteúdo descritivo – um tipo de cromossomo – ou código genético do interpreton, que armazena os sinais que irão determinar seu comportamento. Este conteúdo descritivo pode ser dividido em 5 setores. Três destes setores armazenam estados (interface de entrada, estados internos e interface de saída), e dois setores armazenam funções (funções de transformação e função de avaliação). Interpretons podem ser categorizados em classes, que dependerão basicamente da estrutura de seu conteúdo descritivo. Um interpreton também possui um conjunto de portas de entrada, que alimentam a interface de entrada e um conjunto de portas de saída, que são alimentadas pela interface de saída. De forma a compreender o funcionamento de um interpreton, é necessário colocá-lo para interagir com signlets.

A idéia básica por trás do modelo de um interpreton é a de um agente transformador com atuação mediada. Um interpreton toma um certo conjunto de signlets por meio de sua interface de entrada, e gera outro conjunto de signlets por meio de sua interface de saída. Entretanto, essa transformação não se dá de maneira automática, como em uma transição de uma rede de Petri, por exemplo, ou como em um objeto, em resposta a uma mensagem. Trata-se de uma transformação mediada. Mas o que exatamente se quer dizer por transformação mediada? Na

verdade, ao contrário do modelo de objeto, onde um objeto recebe mensagens e a partir daí responde com alguma atividade, no caso do interpreton, o processo se inicia da parte do próprio interpreton. Por meio de sua função de avaliação, o interpreton avalia um certo conjunto de signlets disponíveis em suas portas de entrada, classificando-os com relação a seu interesse em processá-los. Esse interesse é codificado na forma da função de avaliação. Essa função pode inclusive ser modificada durante a operação do interpreton. Nesse processo, o interpreton também avalia qual de suas diversas funções de transformação irá executar para realizar a transformação do signlet. Após escolher o conjunto de signlets a serem processados (que pode ser um só !), o interpreton executa a transformação, podendo destruir ou não os signlets utilizados no processo.

A interação de um interpreton com signlets, em um sistema semiônico está ilustrada na figura 8.13. Nesta figura, temos os signlets  $s_1$ ,  $s_2$  e  $s_3$ , atuando como signos, e o interpreton  $s_6$  que executará o papel de um intérprete semiótico computacional. Os signlets  $s_1$ ,  $s_4$  e  $s_5$  executarão o papel de interpretantes.



**Figura 8-13 - Interação entre Interpreton e Signlets**

Uma descrição mais detalhada do comportamento do interpreton prevê uma interação com signlets dividida em 5 fases:

- A Fase de Avaliação
- A Fase de Atribuição
- A Fase de Assimilação
- A Fase de Transformação
- A Fase de Consumo

A primeira fase da interação, a **fase de avaliação**, começa quando um determinado interpreton (em nosso caso, o interpreton  $s_6$ ) escolhe os signlets com os quais irá interagir. Nesta fase, ele precisa avaliar cada um dos signlets disponíveis para interação, e além disso decidir qual será o destino deste signlet após a interação (destruição ou preservação). Para este propósito, para cada uma das funções de transformação do interpreton, um conjunto de signlets interagentes que tenham seus tipos de acordo com o domínio da função de transformação é escolhido. O interpreton testa todas as possíveis combinações de signlets disponíveis que tenham seus tipos em acordo com o domínio da função de transformação. Cada possível combinação é chamada de um “escopo habilitante” para uma dada função de transformação, sendo basicamente uma lista de potenciais signlets para interação. À cada escopo habilitante é atribuído um grau de interesse, por meio da função de avaliação, que da mesma forma determina se os signlets serão re-aproveitados na saída, destruídos ou preservados. Esta fase termina quando o interpreton avalia todos os possíveis escopos habilitantes de signlets

disponíveis para interação, atribuindo a cada um destes um grau de interesse e o “modo de acesso” desejado. O modo de acesso diz respeito às intenções do interpreton para com os signlets, informando basicamente se é permitido o compartilhamento do signlet com outros interpretons e se o interpreton pretende destruir o signlet após a interação.

Em uma segunda fase, a **fase da atribuição**, um algoritmo supervisor centralizado coleta os graus de interesse de todos os interpretons de um sistema semiônico e atribui a cada interpreton um escopo habilitante, com a restrição de que esta atribuição deve evitar qualquer sorte de conflitos entre os desejos dos interpretons. Diversos algoritmos diferentes podem ser utilizados nesta fase. Para nossos testes, desenvolvemos um algoritmo chamado de BMSA (Best Matching Search Algorithm), que atribui os signlets aos interpretons que melhor os avaliaram, respeitados os modos de acesso desejados por cada interpreton.

Em uma terceira fase, a **fase de assimilação**, o interpreton assimila os conteúdos descritivos dos signlets a ele atribuídos, efetuando uma cópia de seu conteúdo por meio das portas de entrada, em sua interface de entrada. Depois disso, essa interface de entrada é copiada para o próprio conteúdo descritivo do interpreton. Depois disso, os signlets interagentes são devolvidos ao ambiente, destruídos ou transferidos para alguma porta de saída, conforme o modo de acesso prescrito. Na figura 8.13, o signlet  $s_1$  foi transferido para uma porta de saída, o signlet  $s_2$  foi devolvido ao ambiente e o signlet  $s_3$  foi destruído.

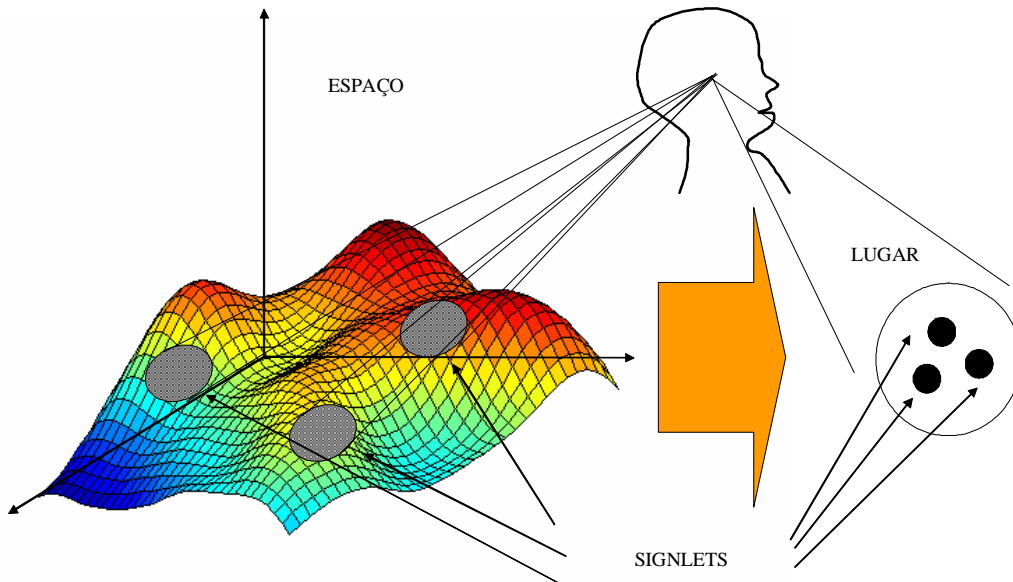
Em uma quarta fase, a **fase de transformação**, a função de transformação escolhida é invocada, determinando os novos valores para os estados internos e interface de saída do interpreton. Por fim, na quinta e última fase, a **fase de consumação**, a interface de saída do conteúdo descritivo do interpreton é utilizada para a construção dos signlets de saída, que encontram-se nas portas de saída. Estes signlets podem ser signlets de entrada, que foram redirecionados para alguma porta de saída durante a atividade do interpreton, um signlet externo que se agregou ao interpreton, ou um signlet novo, recém criado nesta fase. Após essa operação, os signlets são liberados para o ambiente. Este mesmo processo com 5 fases acontece para todos os interpretons de um sistema semiônico.

Se fizermos uma análise do comportamento de um sistema semiônico conforme descrito, veremos que em sistemas de grande porte, com um grande número de interpretons e de signlets interagindo entre si, haverá uma explosão combinatória durante a fase de avaliação, caso todos os interpretons possam em tese interagir com todos os signlets. No modelo que propusemos para a semiótica computacional, isso seria equivalente a termos somente um único espaço de representação, onde os signos poderiam estar posicionados. De forma a tornar o modelo tratável, uma possível solução seria segregar os signlets que poderiam interagir com cada interpreton. Para isso, criou-se o conceito de “lugar”, sendo que diversos lugares podem ser conectados por arcos, de tal forma que um interpreton posicionado em um lugar, somente poderá interagir com os signlets posicionados em lugares que se conectam a seu próprio lugar, por meio de arcos. Esta idéia define um tipo de sistema semiônico muito especial, que foi chamado de “redes semiônicas”. Observemos que a consideração de redes semiônicas é equivalente à divisão do espaço de representação em múltiplos espaços de representação, sendo que cada espaço de representação pode acomodar um certo número de signlets (veja novamente a figura 8.4).



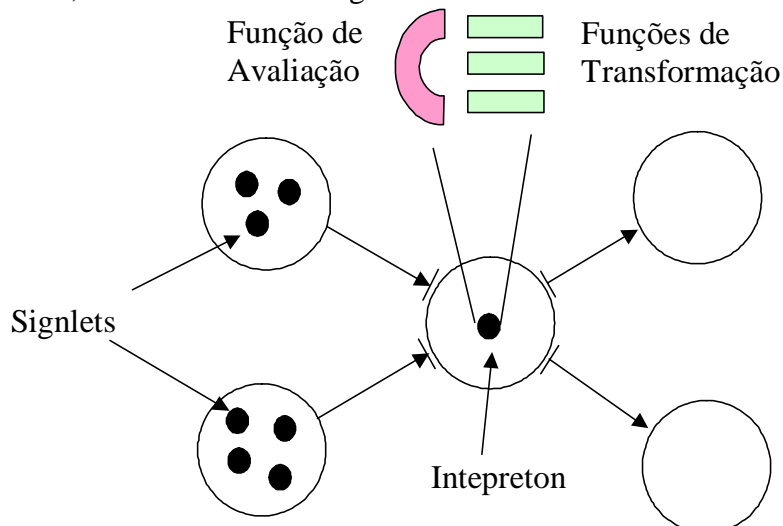
### 8.5.3 As Redes Semiônicas e a Síntese Semiótica

Nossa definição de rede semiônicas precisa agora ser associada a nossas ambições de síntese semiótica, conforme colocado anteriormente. Para tal, basta fazer uma simplificação de nosso cenário de síntese semiótica, transformando os espaços de representação em lugares e as regiões contínuas dos campos de sinais em “signlets”, como ilustrado na figura 8.14 abaixo.



**Figura 8-14- Simplificação da Síntese Semiótica**

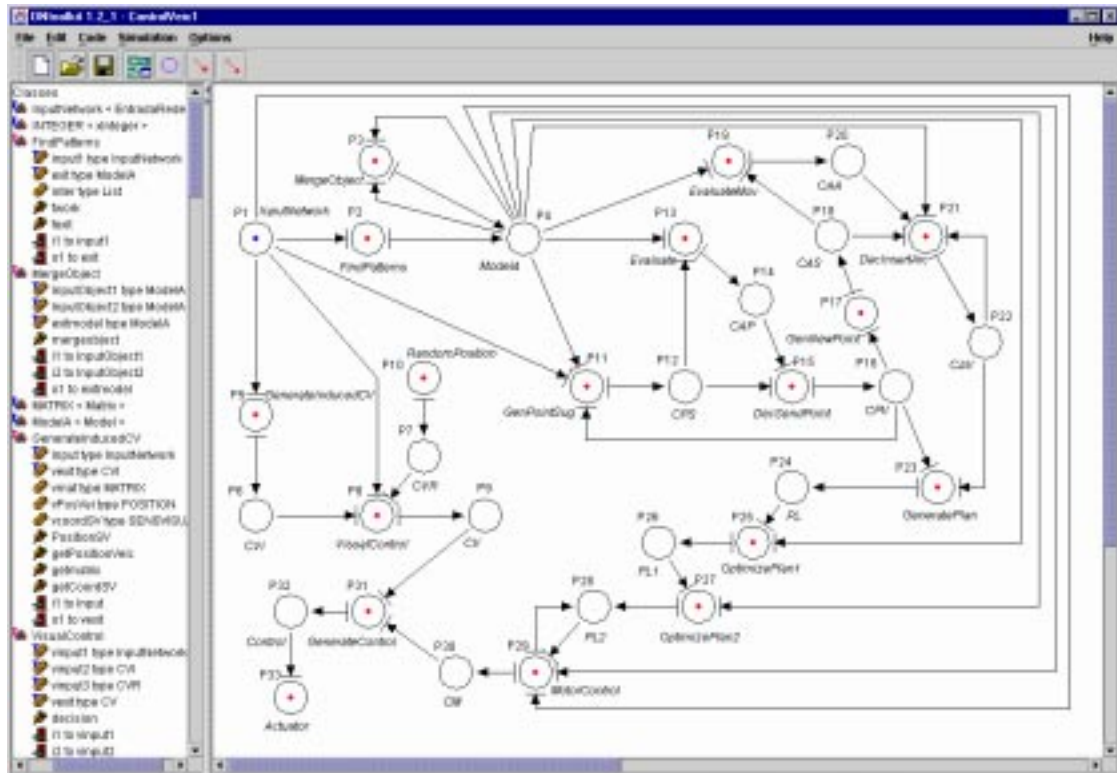
Caso agora façamos a substituição de nosso intérprete pelo interpreton (ou intérprete semiótico computacional), vemos que chegamos em nossa definição de rede semiônica, como mostrado na figura 8.15.



**Figura 8-15 – Uma Rede Semiônica Simples**

Nossa intenção com as redes semiônicas é a de projetar e desenvolver mentes artificiais para agentes inteligentes, de forma que estes agentes possam constituir sistemas inteligentes. Tais redes semiônicas podem então ser simuladas ou emuladas em termos de um sistema computacional, e utilizadas como um sistema de controle inteligente.

De forma a testar esta idéia, desenvolvemos uma implementação de software, chamada de SNToolkit – Semiotic Network Toolkit, que constitui uma ferramenta geral para a construção, desenvolvimento, execução e teste de redes semiônicas (figura 8.16 abaixo). Ela foi utilizada com sucesso para a resolução de alguns problemas-exemplo tais como o problema do caixeiro viajante, dos filósofos, etc.



**Figura 8-16– Detalhe do SNToolkit**

Durante os anos de 2000 e 2001, a ferramenta computacional anterior, o ONToolkit (Guerrero et.al. 1999; Guerrero, 1999), que implementava as redes de agentes, um conceito anterior ao das redes semiônicas, foi completamente remodelada e re-estruturada para incorporar os avanços introduzidos com as definições das redes semiônicas, incorporando redes hierárquicas e outros avanços, dando origem ao SNToolkit. O SNToolkit encontra-se disponível via internet, nos seguintes endereços:

- (<http://www.dca.fee.unicamp.br/projects/semiotics/sntool>)
- (<http://sntool.sourceforge.net>)

### 8.5.4 Casos Especiais

Alguns casos especiais podem ser identificados nas redes semiônicas:

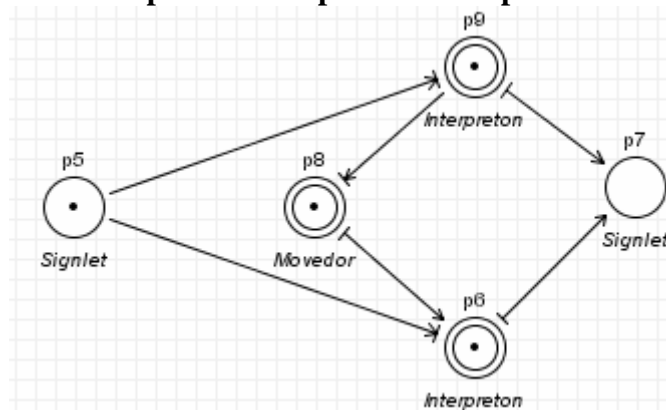
- Interpretons do tipo Fonte
- Interpretons do tipo Vertedouro
- Interpretons atuando como Signlets

Exemplos destes casos especiais podem ser vistos nas figura 8.17 e 8.18. Na figura 8.17, o interpreton do tipo Sensor no lugar p1 é um interpreton do tipo fonte. Observe que neste caso, o interpreton não obtém informações de nenhum signlet,

apenas gerando novos signlets, que são colocados em p2. Também na figura 8.17 o interpreton do tipo Atuador no lugar p3 é um interpreton do tipo vertedouro. Neste caso, apesar de obter informações de um signlet, esse interpreton não gera nenhum outro signlet. Estes dois tipos de interpretons são utilizados para representar interfaces com espaços de representação não computacionais. Por exemplo, o interpreton do tipo Sensor estaria capturando informações do mundo real, gerando como resultado o signlet inserido em p2. O interpreton do tipo Atuador em p3 estaria capturando comandos do signlet em p4 e transformando esse comando em ações de controle que afetariam o mundo real.



**Figura 8-17 - Exemplos de Interpretons do Tipo Fonte e Vertedouro**



**Figura 8-18 - Exemplo de Interpretons atuando como Signlets**

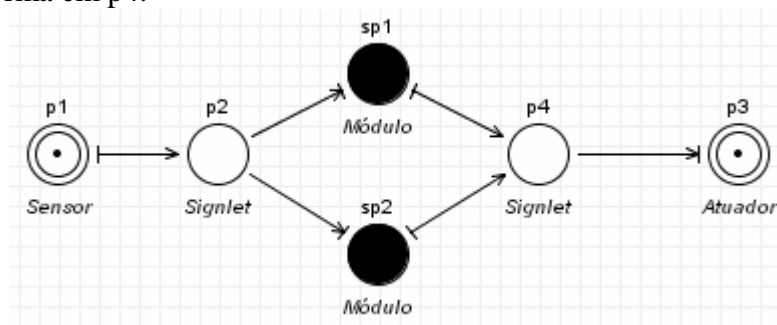
Um exemplo interessante, entretanto, é o exemplo mostrado na figura 8.18. Observe que o interpreton colocado no lugar p9, além de atuar como interpreton, transformando o signlet de p5 em um novo signlet em p7, pode atuar também como signlet, sendo utilizado pelo interpreton do tipo Movedor colocado em p8. Esse interpreton pode, dependendo de sua configuração, mover o interpreton de p9 para p6. Pode ainda alterá-lo e enviá-lo a p6. E poderia também simplesmente destruí-lo. Assim, permitindo que interpretons como os do tipo Movedor em p8 atuem sobre outros interpretons, podemos alterar a própria estrutura de funcionamento de um sistema, alterando seus parâmetros e modificando o comportamento do sistema. Com este recurso, é possível implementarmos sistemas com capacidade de adaptação e aprendizagem em redes semiônicas.

### 8.5.5 Superlugares

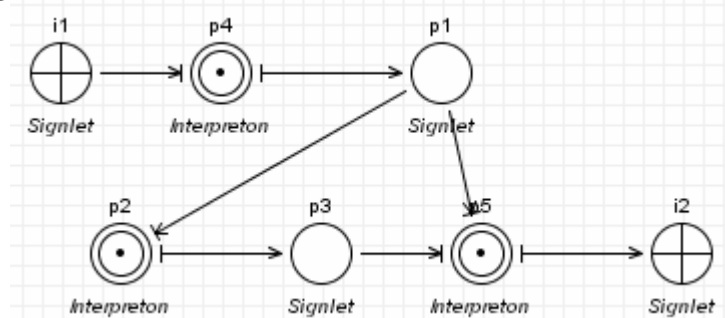
Outro recurso que pode ser utilizado em redes semiônicas são os superlugares. Super-lugares permitem que tenhamos uma hierarquia em redes semiônicas, permitindo ao designer de uma mente artificial fazer o projeto modular do processamento sígnico ocorrendo internamente, e ao mesmo tempo reaproveitar esse design em outros fragmentos da rede.

Um exemplo do uso de super-lugares é mostrado nas figuras 8.19 e 8.20. Na figura 8.19, temos uma rede com dois superlugares, sp1 e sp2, que são do tipo Módulo. Na figura 8.20, temos uma expansão do super-lugar módulo, em uma sub-rede semiônica. Observe que nesta sub-rede, temos dois pseudo-lugares i1 e i2.

Quando as sub-redes são instanciadas na rede principal, i1 se transforma em p2 e i2 se transforma em p4.



**Figura 8-19 - Exemplo de Rede Semiônica com superlugares**



**Figura 8-20 - Explosão da página de superlugares Módulo**

Por meio do uso de super-lugares, redes com diversos níveis hierárquicos podem ser construídas.

## 8.6 Redes Semiônicas e Aplicações de Sistemas e Eventos Discretos

A classe de sistemas chamados de “sistemas a eventos discretos” destaca-se dentro da teoria geral de sistemas por criar modelos de sistemas dinâmicos utilizando uma abstração de alto nível que considera mudanças em um conjunto de estados do sistema, somente em função de eventos que ocorrem discretamente no tempo. Ao contrário dos sistemas contínuos, tais tipos de sistemas não são modelados convenientemente por meio de equações diferenciais, sendo que diversas ferramentas matemáticas surgiram na literatura com a pretensão de servirem de modelos para tais sistemas. Dentre outras propostas, destacam-se os modelos baseados em autômatos de estados finitos e as redes de Petri, em suas mais variadas extensões.

Durante o estudo do fenômeno da interpretação sígnica, conforme os desenvolvimentos relatados nesta tese, compreendeu-se que a natureza de tais fenômenos era da forma de sistemas a eventos discretos. Como já vimos, o processo de interpretação de um signo envolve sua tradução em um outro signo mais evoluído (seu interpretante), de tal forma que tanto o signo original como sua tradução tenham como referência o mesmo objeto (o que caracteriza sua semântica). Esse processo nos leva à relação triádica entre o signo, seu objeto e seu interpretante, que se encontra sumarizada no capítulo 2. Tomando como base os estudos de Peirce, observou-se que o processo de geração desse interpretante, a partir do signo, corresponde a um evento discreto. A partir desta constatação, tentou-se aplicar as diversas ferramentas de modelagem de sistemas a eventos

discretos em processos sgnicos, de modo a derivar um modelo matemático-formal para o processo de semiose. Entretanto, diversas características únicas do processo de semiose não permitiam que as ferramentas tradicionais de modelagem de sistemas a eventos discretos fossem utilizadas a contento para descrever a semiose. Dentre outros problemas, encontramos a incapacidade destas ferramentas em modelar os fenômenos de aprendizagem e adaptao que são características marcantes do fenômeno de semiose. Mesmo redes de Petri de alto nível como as Redes de Petri Coloridas tinham dificuldades na representao destas características. A principal dificuldade encontrada era a necessidade de modelar a insero e destruio de transies (ou seja, os elementos principais que definem a dinâmica em uma rede de Petri) durante a simulao temporal de uma rede de Petri. Inicialmente, tentou-se criar extenses a uma rede de Petri colorida, com o intuito de capacit-la a modelar aprendizagem e adaptao. Entretanto, esbarrou-se em uma série de dificuldades na formalizao matemática destas extenses, que nos levaram a tentar uma abordagem alternativa. Assim, optou-se por criar uma nova ferramenta matemática, muito assemelhada a uma rede de Petri, mas fundamentalmente diferente sob certos aspectos. Essa diferença nos levou a considerá-la um modelo a parte das Redes de Petri, ao invés de uma mera extenso a esta. O modelo criado foi batizado de Redes Semiônicas, dada sua proposta inicial que era a modelagem de processamento sgnico. As Redes Semiônicas tiveram diversos nomes e formulaes matemáticas anteriores, tendo evoluído conceitualmente e formalmente em funo de diversas etapas superadas ao longo do caminho, no que diz respeito  compreensão do processo de semiose.

Originalmente, o uso pretendido das redes semiônicas foi o desenvolvimento de mentes artificiais para agentes inteligentes, conforme relatado em diversos pontos desta tese. Dentre outras aplicaes, vislumbramos sua utilizao no desenvolvimento de oponentes inteligentes em jogos de computador [TATAI 2000; TATAI 2001; TATAI 2002] e simulaes em ambientes virtuais [LOULA 2002; GUDWIN ET.AL. 2002].

A partir do desenvolvimento da ferramenta SNToolkit, percebeu-se que tanto as redes semiônicas como a ferramenta computacional SNToolkit podiam ter uma aplicao muito mais ampla do que simplesmente modelar processos mentais na forma do processo de semiose. Outros tipos de sistemas a eventos discretos com características semelhantes ao processo de semiose poderiam ser modelados também por redes semiônicas, usufruindo das características de simulabilidade encontradas na ferramenta. Assim, além de uma ferramenta de modelagem conceitual, as redes semiônicas poderiam servir como ferramenta de simulao para sistemas a eventos discretos com características de aprendizagem e adaptao. Assim, outras aplicaes práticas foram vislumbradas:

- Modelagem de Organizaes Empresariais
- Modelagem de Sistemas Flexíveis de Manufatura
- Modelagem de Sistemas Híbridos de Inteligência Computacional
- Modelagem de Sistemas de Controle de Robôs Autônomos

### **8.6.1 Modelagem de Organizaes Empresariais**

Organizaes empresariais possuem características adaptativas que encontram certa dificuldade em serem modeladas, quando tentamos aplicar ferramentas tradicionais de modelagem de sistemas a eventos discretos. Essa dificuldade advm

principalmente da flexibilidade com que cargos e funções são atribuídas a pessoas dentro da organização. Dessa forma, os elementos geradores de mudanças (o equivalente a transições em redes de Petri) podem sofrer diversas modificações ao longo do funcionamento da organização. Por exemplo, ... , funcionários podem assumir novas funções, podem ser remanejados de departamentos, novos empregados podem ser admitidos e outros podem ser demitidos. Essas mudanças podem ser modeladas naturalmente em uma rede semiônica, fazendo com que um modelo em redes semiônicas seja muito adequado para espelhar a dinâmica real de uma organização empresarial. Na verdade, como vimos no capítulo 7 existe toda uma área de estudos chamada de Semiótica Organizacional [LIU 2000, LIU ET.AL. 2001], que tende a modelar uma organização do ponto de vista de processos sógnicos. A existência da Semiótica Organizacional sugere uma aplicabilidade quase que imediata das redes semiônicas como plataforma de modelagem e simulação de empresas.

As vantagens de fazê-lo são basicamente as seguintes:

Tendo-se um modelo de uma organização empresarial em redes semiônicas, é possível simulá-la e obter-se parâmetros de desempenho a partir destas simulações. Em seguida, é possível facilmente que modificações na estrutura organizacional sejam testadas e simuladas da mesma maneira. Com isso, é possível se criar uma espécie de “Reengenharia Virtual”, antes que um processo de reengenharia seja aplicado à estrutura organizacional da empresa, o que constitui sempre um processo doloroso e estressante para os funcionários da empresa. Através da “Reengenharia Virtual”, é possível implementar mudanças somente quando as simulações indicarem que realmente haverá algum ganho significativo em se alterar a estrutura organizacional da empresa. Esta abordagem vem sendo estudada em [GUERRERO 2002].

### **8.6.2 Modelagem de Sistemas Flexíveis de Manufatura**

Sistemas flexíveis de manufatura são uma invenção da moderna automação da manufatura, resultado de um mercado em constante mudança e a necessidade de se construir plantas industriais de baixo custo com capacidade de reconfiguração. Novos produtos que precisam ser colocados em produção de maneira rápida, e que permanecerão em linha durante um curto espaço de tempo, inviabilizam a construção de plantas automáticas permanentes, de alto custo, pois os ganhos com o produto podem não pagar os custos da automação da produção. A solução é utilizar plantas reconfiguráveis, que possam produzir diversos produtos diferentes, a partir de uma mudança na configuração da planta. Esses sistemas, conhecidos como sistemas flexíveis de manufatura encontram certa dificuldade em serem modelados, exatamente pela introdução do fator flexibilidade. Essa flexibilidade faz com que o processo de produção esteja em constante mudança, o que demanda um comportamento semelhante em modelos abstratos que proponham-se a modelar esses sistemas reais. É fato que existem diversas tentativas de se utilizar ferramentas formais tradicionais de modelagem de sistemas a eventos discretos em sistemas flexíveis de manufatura. Entretanto, muitas vezes para compatibilizar o uso de tais ferramentas, os modelos acabam sendo tão descaracterizado em seu formato original, que as vantagens reais destas ferramentas (tais como os métodos de análise de modelos) acabam resultando inefetivos. Além disso, o preço que se paga é a obtenção de modelos que muitas vezes não são claros o suficiente, pois encontram-

se cheios de artifícios matemáticos para modelar uma flexibilidade que não existe nos modelos formais em sua constituição original.

Assim, também aqui temos um exemplo de uma classe de sistemas de uma natureza em que as redes semiônicas podem trazer grande auxílio, tanto em relação à modelagem de tais sistemas, como na simulação destes. redes semiônicas têm uma característica que exatamente favorece a flexibilidade, tornando-se uma alternativa natural para a modelagem de sistemas como estes.

### **8.6.3 Modelagem de Sistemas Híbridos de Inteligência Computacional**

Sistemas de Inteligência computacional (lógica fuzzy, redes neurais, computação evolutiva), estão cada vez mais comuns em sistemas de controle e produtos sofisticados. Exemplos de tais aplicações são os modernos eletrodomésticos inteligentes (aspiradores de pó, fornos de microondas, máquinas de lavar, condicionadores de ar), que cada vez mais utilizam-se de tal expediente para tornarem-se mais econômicos do ponto de vista do consumo de energia, e eficientes do ponto de vista de satisfazer os desejos do consumidor. Assim, utiliza-se a lógica fuzzy para o controle de aspiradores de pó (muito sujo, pouco sujo), máquinas de lavar (muito sujo, pouco sujo), condicionadores de ar (confortável, desconfortável). As redes neurais são utilizadas para personalizar o funcionamento de tais produtos ao gosto do cliente, aproveitando as características de adaptação e aprendizagem de tais modelos. Computação evolutiva pode ser utilizada como fonte de criatividade em sistemas de planejamento, tais como controle de grupos de elevadores, planejamento de trajetórias de robôs, etc.

Tal nicho de aplicação vem sendo explorado com entusiasmo tanto no mundo acadêmico como nas indústrias de tecnologia de ponta. Os últimos desenvolvimentos vêm tentando conjugar as diversas vantagens na forma de hibridismo entre estas tecnologias. Passamos então aos sistemas neuro-fuzzy, fuzzy-genéticos, neuro-fuzzy-genéticos, gerando toda uma gama de sistemas híbridos de inteligência computacional. Esse hibridismo, entretanto, não constitui uma tarefa fácil, pois as teorias da inteligência computacional (lógica fuzzy, redes neurais, computação evolutiva), foram desenvolvidos de maneira estanque, com formalismos próprios e muitas vezes não-compatíveis. Os esforços de hibridização são portanto sempre desenvolvidos de forma artesanal, sem uma metodologia de hibridização padronizada. Uma maneira de tornar esse hibridismo mais simples seria tentar encontrar uma teoria básica que pudesse servir como sustentação para cada um dos paradigmas da inteligência computacional, e assim pudesse ser utilizada como fundamento para o desenvolvimento de sistemas híbridos de maneira mais conveniente. Tal teoria poderia ser exatamente a semiônica. Podemos estudar cada um dos componentes da inteligência computacional) como sendo um sistema de processamento de signos, executando inferências dedutivas, indutivas e abduativas. Assim, as redes semiônicas apresentam-se como uma ferramenta natural para o desenvolvimento de sistemas híbridos, permitindo o desenvolvimento de tais sistemas, e oferecendo uma plataforma de testes e simulação, por meio do SNTToolkit. Essa aplicação foi sugerida originalmente em [GUDWIN & GOMIDE 1997B].

### **8.6.4 Modelagem de Sistemas de Controle de Robôs Autônomos**

Ao contrário de robôs industriais convencionais (tais como os braços articulados, com certo número de graus de liberdade), os robôs autônomos

(veículos auto-guiados, veículos exploradores, de mineração, de limpeza ou de uso militar) são bem mais difíceis de serem desenvolvidos, pois não é possível se prever a priori todas as condições de uso em que estes devem operar. Muitas vezes, esses robôs devem operar sob condições imprevistas, devendo atender normas de segurança e confiabilidade, e mantendo seu propósito de desenvolvimento original. O ambiente de operação de tais robôs pode ter elementos conhecidos, mas muito frequentemente sua utilização demanda também sua operação em ambientes com elementos desconhecidos ou com comportamento imprevisível. Essas condições de operação tornam o desenvolvimento de sistemas de controle para tais robôs também uma tarefa artesanal, quase que uma arte.

Muito apropriadamente, o sistema de controle de robôs autônomos pode ser equiparado conceitualmente aos modelos de agentes encontrados no contexto de componentes de software.

Ora, dissemos anteriormente que um dos objetivos de se modelar processos semióticos era o desenvolvimento de mentes artificiais para agentes inteligentes. Como tais robôs autônomos podem ser considerados agentes inteligentes, nada mais natural que se utilize também aqui as redes semiônicas para o desenvolvimento de sistemas de controle de robôs autônomos. Aplicações desta natureza já foram estudadas em [FERNÁNDEZ 2000, OJEDA ET.AL. 2000].

## **8.7 Resumo**

Neste capítulo, apresentamos os detalhes que compõem a semiônica, ou seja, uma proposta de síntese semiótica a ser implementada em sistemas computacionais. Apresentamos inicialmente os conceitos elementares envolvendo o processo de síntese semiótica, fazendo uma comparação com a análise semiótica, e em seguida apresentamos nossa proposta da semiônica, explicando detalhadamente o funcionamento de signlets e interpretons de modo a constituir uma rede semiônica. Por fim, fizemos uma correlação entre a tecnologia semiônica e os sistemas a eventos discretos, e apresentamos alguns nichos de aplicação onde as redes semiônicas podem ser utilizadas no desenvolvimento de sistemas computacionais.



## 9. Conclusão

Como esperamos ter demonstrado de maneira patente ao longo desta tese, a área de semiótica computacional tem atraído cada vez mais um número grande de pesquisadores, tanto no Brasil como no cenário internacional. Uma demonstração disso é o grande número de eventos dedicados a esse tema relacionados na introdução.

Como temos acompanhado este desenvolvimento desde os seus princípios, podemos dizer que felizmente nos colocamos em uma situação privilegiada no cenário mundial. Esta grande área – “semiótica computacional”, como mostramos ao longo desta tese, vem sofrendo uma sub-divisão cada vez maior, fruto do número de pesquisadores e grupos de pesquisa que passam a desenvolver trabalhos sob a égide deste tema. O desenvolvimento da tecnologia semiônica, quando comparado às diversas outras abordagens ilustradas ao longo deste trabalho, não deixa de demonstrar uma contribuição positiva, diferenciando-se das outras abordagens e abrindo toda uma frente de trabalho que vem sendo explorada por nosso grupo de pesquisa nos últimos anos de maneira sistemática e persistente. Com isso, supomos ter dado um “tiro certo” ao apostar no desenvolvimento da tecnologia semiônica, principalmente diante dos frutos que passamos a colher em função das orientações de trabalhos na área, e também da forte interação que temos tido com a comunidade internacional estudando esse domínio da ciência. Temos consciência de que se ficarmos parados, perderemos essa dianteira que foi alcançada a duras penas. Assim, cada vez mais, torna-se necessário ampliar as frentes de pesquisa nesta direção, seja por meio do desenvolvimento de trabalhos de pesquisa na área, seja por meio da formação de recursos humanos aptos a dar prosseguimento nestes trabalhos de pesquisa.

Portanto, além de tentar alavancar trabalhos de pesquisa na área, nossa preocupação foi também a de sedimentar o conhecimento amalhado, na forma de material instrucional adequado à formação de recursos humanos que possam colaborar nas atividades de pesquisa. Neste sentido, esta tese, além de trazer a proposição da tecnologia semiônica, visa também fazer uma compilação de outros diversos trabalhos relevantes encontrados de maneira dispersa na literatura, para servirem como referência aos futuros pesquisadores que possam se interessar pelo tema. Neste sentido, esperamos ter cumprido a promessa embutida no título deste trabalho, ou seja, de ter efetivamente trazido contribuições à semiótica computacional por meio deste texto.

# 10. Referências Bibliográficas

- [AGRE 1987] Agre, P.; Chapman, D. – **PENGI: An implementation of a theory of activity** – Proceedings of the Sixth National Conference on Artificial Intelligence – Seattle – pp. 268-272 – 1987.
- [AGRE & ROSENSCHEIN 1995] Agre, P.E. ; Rosenschein, S.J. - Artificial Intelligence - vols. 72 & 73 - Special Volumes: **Computational Research on Interaction and Agency**, parts 1 & 2 - Guest Editors - 1995.
- [ALBUS 1991] - Albus, J.S. - **Outline for a Theory of Intelligence** - IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, vol. 21, n. 3, May/June 1991.
- [ALBUS & MEYSTEEL 1996] Albus, J. S.; Meystel, A. M. - **A Reference Model Architecture For Design And Implementation Of Intelligent Control In Large And Complex Systems** - International Journal of Intelligent Control and System - Vol. 1 - No 1 - 1996 - pp. 15 - 30.
- [ALBUS & MEYSTEEL 1997] Albus, J. S.; Meystel, A. M. - **Behavior Generation in Intelligent System** - Department of Electrical & Computer Engineering - Philadelphia - 1997 - pp. 2 - 25.
- [ALBUS 1997] Albus, J. S. - **The NIST Real-Time Control System (RCS): An Approach To Intelligent System Research**, J.Expt.Theor.Artif.Intell - 1997 - pp.157 -162.
- [ALBUS & MEYSTEEL 2001] - Albus, J.S.; Meystel, A.M. - **Engineering of Mind: An Introduction to the Science of Intelligent Systems**, John Wiley & Sons; ISBN: 0471438545, 2001.
- [AUTOGNOMICS 1997] Autognomics, Corp., White paper, **A Skeleton Autognome**, Autognomics Corp., EUA, 1997.
- [AUTOGNOMICS 2001] Autognomics, Corp., **Autognomics Technology - BriefOverview of Autognomics**, Autognomics Corp., EUA, , 2001.
- [BEER 1995] Beer, R.D. - **A dynamical systems perspective on agent-environment interaction** - Artificial Intelligence, vol. 72, pp. 173-215, January 1995.

- [BRENNER 1998] Brenner, W.; Zarnekow, R.; Wittig, H. – **Intelligent Software Agents: Foundations and Applications** – Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York – 1998.
- [BROOKS 1986] Brooks, R.A. – **A robust layered control system for a mobile robot** – IEEE Journal of Robotics and Automation – Vol. 2 – No. 1 – pp. 14-23 – 1986.
- [BROOKS 1990] Brooks, R.A. – **Elephants don't play chess** – Robotics and Autonomous Systems, vol. 6, pp. 3-15, 1990 - also in Maes, P. (eds.): Designing Autonomous Agents – The MIT Press – Cambridge – MA – pp. 3-15 – 1990.
- [BROOKS 1991A] Brooks, R.A. – **Intelligence without reason** – Proceedings of the Twelfth International Joint Conference on Artificial Intelligence – Sydney – Australia – pp. 569-595 – 1991.
- [BROOKS 1991B] Brooks, R.A. – **Intelligence without representation** – Artificial Intelligence – No. 47 – pp. 139-159 – 1991.
- [CIANCARINI ET.AL. 2000] Ciancarini, P.; Wooldridge M.J. (Eds) - **Agent-Oriented Software Engineering** - Lecture Notes on Computer Science 1957 - First International Workshop, AOSE 2000, Limerick, Ireland, June 10, 2000 - Revised Papers, 2000.
- [COELHO 2002] Coelho, H.A.O. – **Semiótica Computacional aplicada a Agentes de Internet** – Proposta de Tese de Mestrado – (em desenvolvimento) - DCA-FEEC-UNICAMP.
- [COLOMBETTI ET.AL. 1996] Colombetti, M.; Dorigo, M.; Borghi, G., - **Behavior Analysis and Training - A Methodology of Behavior Engineering** - IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, part B - Cybernetics - vol. 21, n. 3, June, 1991, pp. 365-380.
- [DEELY 1990] Deely, J. - **Semiótica Básica** - Série Fundamentos: 80 - ISBN 850803721 - Editora Ática, 1990
- [DOEBN-HENISCH ET.AL. 1995] Doebn-Henisch, G.; Klöckner, M. - **Agents with Consciousness** - Knowbotic-Interface Project - KIP - Internal Report - INM - Institut für Neue Medien - Daimlerstr. 32 - Frankfurt, Germany - August 1995.
- [DOEBN-HENISCH 1996] Doebn-Henisch, G. - **Semiotic Machines - Theory, Implementation, Semiotic Relevance** - 8th International Semiotic Congress of the German and the Netherlands Semiotic Societies - Amsterdam, August 1996.
- [DOLMOTOVA ET.AL. 1995] Dolmatova, L.M. and Khoroshevsky, V.F., **Help Leader: Making Situation Control to Work in Software Engineering** - Workshop on Architectures for Semiotic Modeling and Situation Analysis in Large Complex Systems, Proceedings of ISIC WORKSHOP, 10<sup>o</sup> IEEE International Symposium on Intelligent Control, Monterey, CA, 1995.
- [DORIGO 1996] Dorigo, M. - **Introduction to the Special Issue on Learning Autonomous Robots** - IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics -

Part B: Cybernetics - Special Issue on Learning Autonomous Robots - vol. 26, n. 3 - June, 1996.

- [ECO 1976] Eco, U. - **Tratado Geral de Semiótica** - Coleção Estudos - 1976.
- [EHRlich 1997] Ehrlich, A. I., **Applied Semiotics: New Approach to Modelling and Simulating in Control Systems**, AIICSR'97, Artificial Intelligence and Information-Control Systems of Robots, Second Workshop on Applied Semiotics, September, Slovakia, 1997.
- [FANN 1970] Fann, K.T – **Peirce's Theory of Abduction** – Martinus Nijhoff – The Hague, 1970.
- [FERNÁNDEZ 2000] Fernández, D.A.O.; Suárez, L.L.; Gudwin, R.R. - **Una Aplicación Basada en Redes de Agentes Para Control Autónomo** - VII Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica, Eléctrica y de Sistemas - INTERCON 2000, Lima, Peru, 15-18 agosto, 2000, pp. 148-153.
- [FIGUEIREDO & GOMIDE 1996] Figueiredo, M.; Gomide, F. - **Evolving Neurofuzzy Networks for Basic Behaviors and a Recategorization Approach for their Coordination** - in *Genetic Algorithm and Soft Computing*, série Studies in Fuzziness, Springer-Verlag Company, 1996.
- [FRANKLIN 1995] Franklin, S. - **Artificial Minds** - MIT Press - ISBN: 0262561093, 1995.
- [FRANKLIN ET.AL. 1996] Franklin S., Graesser A. – **Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents** – Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages – Springer-Verlag, 1996.
- [GARDNER 1983] Gardner, H. - **Frames of Mind - The Theory of Multiple Intelligences** - Basic Books - 1983, 2nd edition 1993.
- [GOMES 2000] Gomes, A.S.R. **Contribuições ao Estudo de Redes de Agentes** – Tese de Mestrado – DCA-FEEC-UNICAMP.
- [GONÇALVES, GOMIDE & GUDWIN 1998A] Gonçalves, R. ;Gomide, F. ; Gudwin, R. – **Fielded Object Networks as a Framework for Computer Intelligence** – Proceedings of ISAS'98 - Intelligent Systems and Semiotics - International Conference, 14-18/September - Gaithersburg, USA, 1998, pp. 210-214.
- [GONÇALVES & GUDWIN 1998B] Gonçalves, R. ; Gudwin, R. – **Semiotic Oriented Autonomous Intelligent Systems Engineering** – Proceedings of ISAS'98 - Intelligent Systems and Semiotics - International Conference, 14-18/September - Gaithersburg, USA, 1998, pp. 700-705.
- [GONÇALVES & GUDWIN 1999] Gonçalves, R.; Gudwin, R.R., - **Emotions: A Computational Semiotics Perspective** - Proceedings of 1999 IEEE International Symposium on Intelligent Control, Intelligent Systems and Semiotics - ISIC/ISAS 99, Cambridge, MA, USA, 22-26 September, 1999.

- [GUDWIN 1996] Gudwin, R.R. - **Contribuições ao Estudo Matemático de Sistemas Inteligentes** - Tese de Doutorado - DCA-FEEC-UNICAMP, Maio 1996.
- [GUDWIN 1998] Gudwin, R.R. – **On the Generalized Deduction, Induction and Abduction as the Elementary Operators within Computational Semiotics** – Proceedings of ISAS'98 - Intelligent Systems and Semiotics - International Conference, 14-18/September - Gaithersburg, USA, 1998, pp. 795-800.
- [GUDWIN 1999A] - Gudwin, R.R. - **Umwelts and artificial devices : a reflection on the text of Claus Emeche : does a robot have an umwelt ?** - Anais do 2º Seminário Avançado de Comunicação e Semiótica, São Paulo, SP, Brasil, 1999. p.51-56.
- [GUDWIN 1999B] Gudwin, R.R. - **From Semiotics to Computational Semiotics** - Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Congress of the German Society for Semiotic Studies/ 7<sup>th</sup> International Congress of the International Association for Semiotic Studies (IASS/AIS), Dresden, Germany, 3-6, 7-11 October, 1999.
- [GUDWIN & GOMIDE 1997A] Gudwin, R.R.; Gomide, F.A.C. - **An Approach to Computational Semiotics** - ISAS'97 - Intelligent Systems and Semiotics - A Learning Perspective - International Conference - 22-25/September - Gaithersburg, USA, 1997, pp. 467-470.
- [GUDWIN & GOMIDE 1997B] Gudwin, R.R.; Gomide, F.A.C. - **A Computational Semiotics Approach for Soft Computing** - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics - SMC'97 - 12-15/October - Orlando, USA, 1997, vol. 4, pp. 3981-3986.
- [GUDWIN & GOMIDE 1997C] Gudwin, R.R.; Gomide, F.A.C., - **Computational Semiotics : An Approach for the Study of Intelligent Systems- Part I : Foundations** - Technical Report RT-DCA 09 - DCA-FEEC-UNICAMP, 1997.
- [GUDWIN & GOMIDE 1997D] Gudwin, R.R.; Gomide, F.A.C. - **Computational Semiotics : An Approach for the Study of Intelligent Systems- Part II : Theory and Application** - Technical Report RT-DCA 09 - DCA-FEEC-UNICAMP, 1997.
- [GUDWIN & GOMIDE 1998A] Gudwin, R.; Gomide, F., – **Object Networks – A Modelling Tool** – Proceedings of FUZZ-IEEE98, WCCI'98 - IEEE World Congress on Computational Intelligence, 4-9 May 1998, Anchorage, Alaska, USA, pp. 77-82
- [GUDWIN & GOMIDE 1998B] Gudwin, R.R.; Gomide F.A.C. – **Object Networks : A Formal Model to Develop Intelligent Systems** – in W.Pedrycz and J.F.Peters, editors – Computational Intelligence and Software Engineering - World Scientific World Scientific Pub Co; ISBN: 9810235038, June 1998.
- [GUDWIN & GOMIDE 1999] Gudwin, R.R.; Gomide, F.A.C. – **Object Networks : A Computational Framework to Compute with Words** – in L.A.Zadeh and J. Kacprzyk, editors - Computing with Words in Information/Intelligent Systems I – Series: Studies in Fuzziness and Soft Computing.VOL. 33 - Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 1999 - ISBN: 3-7908-121.

- [GUDWIN 2000] Gudwin, R.R. - **Evaluating Intelligence: A Computational Semiotics Perspective** - 2000 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics - SMC2000 - Nashville, Tennessee, USA, 8-11 October, 2000, pp. 2080-2085.
- [GUDWIN 2001] Gudwin, R.R. - **Semiotic Synthesis and Semiotic Networks** - SEE'01 - 2nd International Conference on Semiotics, Evolution and Energy - October 6-8, 2001, University of Toronto, Toronto, Canada
- [GUDWIN ET.AL. 2002] Gudwin, R.R.; Loula, A.C.; Ribeiro, S.; Araújo,I.; Queiroz, J. 2002] - **A Proposal for a Synthetic Approach to Symbolic Semiosis** - 10th International Congress of the German Semiotic Society - 10. Internationaler Kongres - Deutsche Gesellschaft für Semiotik (DGS) - Kassel University - , 19-21 July 2002, Kassel, Germany.
- [GUERRERO 2000] Guerrero, J.A.S. - **Rede de Agentes: Uma Ferramenta para o Projeto de Sistemas Inteligentes** - Tese de Mestrado - DCA/FEEC/UNICAMP, Fevereiro de 2000.
- [GUERRERO 2002] - Guerrero, J.A.S. – **Redes Semiônicas em Modelagem de Organizações** – Proposta de Tese de Doutorado – (em desenvolvimento) – DCA-FEEC-UNICAMP.
- [GUERRERO, GOMES & GUDWIN 1999] - Guerrero, J.A.S.; Gomes, A.S.R.; Gudwin, R.R., 1999) - **A Computational Tool to Model Intelligent Systems** - Anais do IV Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente - SBAI99, São Paulo, SP, Brasil, 1999. p.227-232.
- [HAUGELAND 1997] - Haugeland, J. (editor) - **Mind Design II: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence** - MIT Press; ISBN: 0262581531, 1997.
- [HOFSTADTER 1995] - Hofstadter, D.R. - **Fluid Concepts & Creative Analogies: Computer Models of the Fundamental Mechanisms of Thought** - Basic Books; ISBN: 0465051545, 1995.
- [JOSLYN 2001] Joslyn, C. **The Semiotics Of Control And Modeling Relations In Complex Systems** - BioSystems 60 (2001) 131–148.
- [JOSLYN & ROCHA 1998] Joslyn, C, Rocha L. M. –**Towards a formal Taxonomy of hybrid uncertainty representations** – Internal Technical Report - Computer Research and applications Group, Mail stop B265, Los Alamos National Laboratory LANI, Los Alamos NM 87545 USA.
- [JOSLYN & ROCHA 2000] Joslyn, C.; Rocha, L.M. - **Towards Semiotic Agent-Based Models of Socio-Technical Organizations** - AI, Simulation and Planning (AIS 2000) Conference, Tucson, Arizona, USA, 2000.
- [KHOROSHEVSKY 1995] Khoroshevsky, V.F., A., **Situation Control Software: From Symbol Manipulation Languages Through Knowledge Representation Systems to Semiotic Technologies** - Architectures for Semiotic Modeling and Situation Analysis in Large Complex Systems, Proceedings of ISIC

WORKSHOP, 10<sup>o</sup> IEEE International Symposium on Intelligent Control, Monterey, CA, 1995.

- [KODA 1996] Koda, T.; Maes, P. – **Agents with Faces: The Effects of Personification of Agents** – Proceedings of HCI'96 – London – pp. 98-103 – The British HCI Group – 1996.
- [LASHKARI 1994] Lashkari, Y.; Metral, M.; Maes, P. – **Collaborative Interface Agents** – Proceedings of the Twelfth National Conference on Artificial Intelligence – Vol. 1 – AAAI Press – Seattle – 1994.
- [LEHMANN 2001] Lehmann, W. P., **Machine Translation (MT) at Texas; the Early Years** - University of Texas, 2001.  
[http://www.utexas.edu/cola/depts/irc/mt/mt\\_at\\_tex.html](http://www.utexas.edu/cola/depts/irc/mt/mt_at_tex.html).
- [LEMANN 1968] Lemann, W. P. and Pendergraft, E., Final Report : **Linguistic Information Processing Study and Dynamic Adaptive Data Base Management Study**, Prepared for U. S. Army Electronics Command, Fort Monmouth, 1968 [citado em Pendergrat, 1993].
- [LIU 2000] Liu, K. **Semiotics in Information Systems Engineering** – Cambridge University Press, ISBN: 0521593352, 2000.
- [LIU ET.AL 2001] Liu, K.; Clarke, R.J.; Andersen, P.B.; Stamper, R.K. 2001) **Information, Organisation and Technology: Studies in Organisational Semiotics** – Kluwer Academic Publishers, ISBN: 0792372581, 2001.
- [LISZKA 1990] Liszka J. J., **Peirce's Interpretant**, transaction of the Charles S. Peirce Society, EUA, 1990, Vol. XXVI, No. 1.
- [LISZKA 1996] Liszka J. J., **A General Introduction to the Semeiotic of Charles Sanders Peirce**, Indiana University Press, EUA, 1996.
- [LOULA 2002] Loula, A.C. – **Desenvolvimentos Sgnicos em Agentes Inteligentes Virtuais** – Proposta de Tese de Mestrado – (em desenvolvimento) – DCA-FEEC-UNICAMP.
- [MAES 1991] Maes, P. – **The agent network architecture (ANA)** – SIGART Bulletin – Vol. 2 – No. 4 – pp. 115-120 – 1991.
- [MAES 1994] Maes, P. – **Agents that Reduce Work and Information Overload.** – Communications of the ACM – Vol. 37 – No.7 – ACM Press – 1994 – pp. 31-40.
- [MERRELL 1996] Merrell F., **Signs Grow – Semiosis and Life Processes**, University of Toronto Press, Toronto, Canada, 1996.
- [MEYSTEL 1995] Meystel, A.M. - **Semiotic Modeling and Situation Analysis : An Introduction** - AdRem Inc. - Bala Cynwyd, PA, USA, 1995.
- [MEYSTEL 1996A] Meystel, A.M. - **Intelligent Systems: A Semiotic Perspective** - International Journal of Intelligent Control and Systems - vol. 1, issue 1, March, 1996.

- [MEYSTEEL 1996B] Meystel, A.M. - **Intelligent System as an Object of Semiotic Research** - Proceedings of the Biennial Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society - NAFIPS - Berkeley, California, USA - June 19-22, 1996.
- [MEYSTEEL & ALBUS 2001] Meystel, A.M.; Albus, J.S. **Intelligent Systems: Architecture, Design, Control** - Wiley-Interscience; ISBN: 0471193747, 2001.
- [MORRIS 1946] Morris, C.W - **Signs, Language, and Behavior**. G. Braziller Publishers, 1946.
- [MORRIS 1971] Morris, C.W. - **Writings on the General Theory of Signs** - The Hague: Mouton, 1971.
- [MURCH & JOHNSON 1999] Murch, R.; Johnson, T. - **Intelligent Software Agents** - Prentice-Hall, New Jersey, 1999.
- [NDUMU 1997] Ndumu D.T.; Nwana H.S. – **Research and Development Challenges for Agent-Based Systems** – IEE Proceedings on Software Engineering – Vol. 144 – No. 1 – 1997.
- [NEWELL 1980] Newell, A. – **Physical Symbol Systems** - Cognitive Science 4 1980.
- [NEWELL 1982] Newell, A. - **The Knowledge Level** – Artificial Intelligence 18 - 1982.
- [NEWELL & SIMON 1976] Newell, A.; Simon.H – **Computer Science as empirical inquiry: symbols and search**. Com. ACM 19 -1976.
- [NOTH 1995] Noth, W. - **Handbook of Semiotics** (Advances in Semiotics) - Indiana University Press, 1995.
- [NWANA 1996A] Nwana, H.S. – **Software Agents: An Overview** – Knowledge Engineering Review – Vol. 11 – No. 3 – 1996 – pp. 1-40.
- [NWANA 1996B] Nwana, H.S.; Ndumu, D.T. – **An Introduction to Agent Tecnology** – BT Technology Jornal – Vol. 14 – No. 4 – 1996 – pp. 55-67.
- [NWANA 1996C] Nwana, H.S.; Lee,L.; Jennings, N.R. – **Coordination in Software Agent Systems** – BT Technology Jornal – Vol. 14 – No. 4 – 1996 – pp. 79-88.
- [NWANA 1996D] Nwana, H.S.; Wooldridge M.J. – **Software Agent Technologies** - BT Technology Jornal – Vol. 14 – No. 4 – 1996 – pp. 68-78.
- [NWANA 1998] Nwana, H.S.; Ndumu, D.T. – **A Brief Introduction to Software Agent Technology** – Jennings, N.R.; Wooldridge, M.J. (eds.): Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets – Springer-Verlag – 1998 – pp. 29-49.
- [OJEDA ET.AL. 2000] Ojeda, D.; Liñero, L.; Gudwin, R. - **An Autonomous Vehicle Controller Using Agent Networks** - IV Conferência de Aplicações Industriais - IV Industry Applications Conference - INDUSCON'2000 - Porto Alegre, RG - Brasil, 6-9 novembro de 2000 - pp. 519-524.



- [OLIVEIRA ET.AL. 1994] Oliveira, M.; Figueiredo, M.; Gomide, F., 1994) - **A Neurofuzzy Approach to Autonomous Control** - Anais do *The 3rd International Conference on Fuzzy Logic, Neural Nets and Soft Computing*, Iizuka, Japão, agosto de 1994, pp.597-598.
- [OSIPOV 1981] Osipov, G.S., **Two Problems in the Theory of Semiotic Control Models I. Representations of Semiotic Models**, Engineer Cybernetics, Makhachkala, 1981(6):79-88.
- [OSIPOV 1982] Osipov, G.S., **Two Problems in the Theory of Semiotic Control Models II. Semantic Analysis**, Engineering Cybernetics, Makhachkala, 1982(1):98-104.
- [OSIPOV 2000] Osipov, G.S., **Origens of Applied Semiotics**, ECAI 2000, 14<sup>th</sup> European Conference on Artificial Intelligence, 2000.
- [PALANISWAMI ET.AL. 1995] Palaniswami, M.; Attikiouzel, Y.; Marks II, R.J.; Fogel, D.; Fukuda, T., Editors - **Computational Intelligence - A Dynamic System Perspective** - IEEE Press, 1995.
- [PATTEE 1982] Pattee, H.H. - **Cell psychology: An evolutionary approach to the symbol-matter problem** - Cognition and Brain Theory 5 (4), 325–341, 1982.
- [PATTEE 1995] Pattee, H.H. - **Evolving self-reference: matter symbols and semantic closure** - Communication and Cognition – Artificial Intelligence 12 (1–2), 9–27. 1995.
- [PEIRCE 1934] Peirce C. S., **Scientific Method**, in *Collected Papers of Charles Saunders Pierce*, P. Weiss (Ed), Harvard University Press, 1934.
- [PEIRCE 1980] Peirce, C.S. - **The Collected Papers of Charles S. Peirce** - 8 vols. Vols 1-6 edited by Charles Hartshorne and Paul Weiss; vols. 7-8 edited by Arthur Burks - Cambridge: Harvard University Press, 1980.
- [PEIRCE 1990] Peirce, C.S. - **Semiótica** - Coleção Estudos - tomo 46 - 2a. edição - Editora Perspectiva - Tradução parcial de: *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, em vários volumes, edições e datas diversas.
- [PEIRCE 1993] Peirce, C.S. - **The Writings of Charles S. Peirce** - 5 vols. Vol. 1 edited by Max Fisch et.al.; vol. 2 edited by Edward C.Moore et.al.; vols. 3-5 edited by Christian Kloesel et.al. Bloomington: Indiana University Press, 1980-1993.
- [PENDERGRAFT 1964] Pendergraft, E.P. - **Self-organizing Linguistic Systems** - Linguistic Research Seminar, Santa Monica, California, 1964.
- [PENDERGRAFT 1993] Pendergraft, E.P. **The Future's Voice - Intelligence Based on Pragmatic Logic** - Internal Report - Creative Intelligence Incorporated, DRAFT (FATE), Jasper, EUA, June 1993.
- [PERLOVSKY 1998A] Perlovsky, L. I. – **Cyberaesthetics: Aesthetics, Symbols and Control** - Proceedings of the IEEE ISIC/CIRA/ISAS Joint Conference - Gaithersburg, MD. Sep 1998.

- [PERLOVSKY 1998B] Perlovsky, L. I. – **Semiotics, Mind and Architecture of Target Tracker** – Proceedings of the IEEE ISIC/CIRA/ISAS Joint Conference - Gaithersburg, MD. Sep 1998.
- [PERLOVSKY 2000] Perlovsky, L. - **Neural Networks And Intellect** - Oxford Press - ISBN 0195111621, 2000.
- [PETRIE 1996] Petrie, C.J. – **Agent-Based Engineering , the WEB, and Intelligence** – IEEE Expert Intelligent Systems & their Applications – Vol. 11 – No. 6 – 1996 – pp. 24-29.
- [PINTO 1995] Pinto, J. - **1, 2, 3 da Semiótica** -, ISBN:85-7041-098-0, Editora UFMG, Belo Horizonte, 1995.
- [POSPELOV 1971] Pospelov, D.A., **Principles of Situational Control**, Engineering Cybernetics, Moscow, 1971(2):216-222.
- [POSPELOV 1991] Pospelov, D.A. - **Situational Control : Theory and Practice** - tradução não publicada do original em russo, da Nauka Publishers, Moscou, 1986.
- [POSPELOV 1995] Pospelov, D.A., **Semiotic Models in Control Systems**, Architectures for Semiotic Modeling and Situation Analysis in Large Complex Systems, Proceedings of ISIC WORKSHOP, 10<sup>o</sup> IEEE International Symposium on Intelligent Control, Monterey, CA, 1995.
- [POSPELOV ET.AL. 1970] Pospelov, D.A. and Zhelezov, Zh. Y. - **On a Class of Large Systems** - Engineering Cybernetics, Moscow, 1970(2):243-246.
- [POSPELOV ET.AL. 1977] Pospelov, D.A. and Yeimov, Ye. I., **Semiotic Models in Planning Problems of Artificial Intellect Systems**, Engineering Cybernetics, Moscow, 1977(5):37-43.
- [POSPELOV ET.AL. 1995] Pospelov, D.A., Ehrlich, A.I., Khoroshevsky, V.F., and Osipov, G.S., **Semiotic Modeling and Situation Control**, Architectures for Semiotic Modeling and Situation Analysis in Large Complex Systems, Proceedings of ISIC WORKSHOP, 10<sup>o</sup> IEEE International Symposium on Intelligent Control, Monterey, CA, 1995.
- [POSPELOV ET.AL. 1997] Pospelov, D.A. and Osipov, G.S., **Knowledge in Semiotic Models**, AIICSR'97, Artificial Intelligence and Information-Control Systems of Robots, Second Workshop on Applied Semiotics, 15 September, Smolenice Castle, Slovakia, 1997.
- [PRUEITT 1996] Prueitt, P.S., **Is Computation Something New?**, Intelligent Systems: a semiotic perspective, Proceedings of the 1996 International Multidisciplinary Conference, Vol. II: Applied Semiotics, Gaithersburg, Maryland, 1996.
- [PRUEITT 1999] Prueitt, P., **Foundations of Knowledge Management for the 21<sup>st</sup> Century**, BCN Group Inc., EUA, 1999.
- [RIEGER 1995] Rieger, B.B. - **Situations, Language Games, and SCIPS. Modeling semiotic cognitive information processing systems** - in: Albus, J./ Meystel,

- A./ Pospelov, D./ Reader, T. (eds.): Architectures for Semiotic Modeling and Situation Analysis in Large Complex Systems (Proceedings of The 1995 ISIC-Workshop, Monterey: the 10th International IEEE-Symposium on Intelligent Control), Bala Cynwyd, PA. (AdRem Inc.) 1995, pp. 130-138
- [RIEGER 1995B] Rieger, B.B. - **Meaning Acquisition by Semiotic Agents : Semiotic Cognitive Information Processing in a language environment** - Proceedings of ICAS/ German Federal Forces University Workshop on Agents, Cooperation, and Communication (AC&C), San Marco di Castellabate, SA, Italy, June 18-24, 1995.
- [RIEGER 1998] Rieger, B.B. - **A Systems Theoretical View on Computational Semiotics. Modeling text understanding as meaning constitution by SCIPS**, in: Proceedings of the Joint IEEE Conference on the Science and Technology of Intelligent Systems (ISIC/CIRA/ISAS-98), Piscataway, NJ (IEEE/Omnipress) 1998, pp. 840-845
- [RIEGER 1999] Rieger, B.B. - **Semiotics and Computational Linguistics. On Semiotic Cognitive Information Processing** - in: Zadeh, Lotfi A. / Kacprzyk, Janusz (eds.): Computing with Words in Information/ Intelligent Systems I. Foundations [Studies in Fuzziness and Soft Computing 33], Heidelberg, (Physica Verlag) 1999, pp. 93 - 118
- [ROCHA 1998] Rocha. L. M.- **Models of embodied, evolving, semiosis in artificial environments**. In: Landauer, C., Bellman, K.L. Proceeding of the virtual world and simulation conference. The society for Computer Simulation, pp 233-238, 1998
- [ROCHA 2000] Rocha, Luis M. **Syntactic autonomy, cellular automata, and RNA editing: or why self-organization needs symbols to evolve and how it might evolve them**. In: Closure: Emergent Organizations and Their Dynamics. Chandler J.L.R. and G, Van de Vijver (Eds.) Annals of the New York Academy of Sciences. Vol. 901, pp 207-223.
- [ROCHA 2001] Rocha. L. M. - **Evolution with material symbolic systems**, Elsevier Science. Ireland Ltd. 2001.
- [RUSSELL 1995] Russell S. J.; Norvig P. – **Artificial Intelligence: A Modern Approach** – Englewood Cliffs – NJ – Prentice Hall – 1995.
- [SANTAELLA 1983] Santaella, L. - **O que é a Semiótica** – Coleção Pequenos Passos: 103 - Editora Brasiliense. 1983
- [SANTAELLA 1992] Santaella L., **A Assinatura das Coisas: Peirce e a Literatura**, Imago, São Paulo, 1992.
- [SANTAELLA 1993] Santaella L., **Metodologia Semiótica**, *Tese de Livre Docência*, Escola de Comunicação e Artes, USP, São Paulo, 1993.
- [SANTAELLA 1995] Santaella L., **Teoria Geral dos Signos: Semiosis e Autogeração** - Editora Ática, São Paulo, 1995.

- [SANTAELLA 1998] Santaella, L. - **A Percepção - Uma Teoria Semiótica** - ISBN 8585597011 - Editora Experimento, 1998.
- [SOUZA E SILVA & FERNEDA 1997] Souza e Silva M. E., Ferneda E. **De Agentes Racionais a Agentes Semióticos**, *Anais do I Encontro Nacional de Inteligência Artificial – ENIA’97*, SBC, Brasília, 1997.
- [SOUZA E SILVA 1998] Souza e Silva M. E., **De Agentes Racionais a Agentes Semióticos**, *Tese de Mestrado*, UFPB, Campina Grande, Maio de 1998.
- [SOUZA E SILVA 2000] Souza e Silva, **Agente Semiótico: um modelo conceitual**, Relatório Técnico, Depto. de Engenharia de Computação e Automação Industrial, Unicamp, Campinas, 2000.
- [SOUZA E SILVA 2001A] Souza e Silva, M.E. **Agentes Semióticos – Relatório N.º 2** – Relatório Técnico apresentado à FAPESP em Junho 2001, referente a bolsa de doutorado - Processo FAPESP **99/03351-0**.
- [SOUZA E SILVA 2001B] Souza e Silva, M.E. **Controle Semiótico: Uma Visão Geral** - Relatório Técnico apresentado à FAPESP em Junho 2001, referente a bolsa de doutorado - Processo FAPESP **99/03351-0**.
- [SOUZA E SILVA 2001C] Souza e Silva, M.E. **Agente Semiótico: Auto-organização da Experiência** - Relatório Técnico apresentado à FAPESP em Junho 2001, referente a bolsa de doutorado - Processo FAPESP **99/03351-0**.
- [SOUZA E SILVA 2001D] Souza e Silva, M.E. **Agentes Semióticos: Uma Proposta de Formalização** - Relatório Técnico apresentado à FAPESP em Junho 2001, referente a bolsa de doutorado - Processo FAPESP **99/03351-0**.
- [SOUZA E SILVA & GUDWIN 2001] Souza e Silva, M.E.; Gudwin, R.R., **Um Tutorial em Controle Situacional Semiótico** - Anais do V Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente - V SBAI - 7 a 9 de novembro de 2001 - Hotel Continental, Canela, RS
- [SUÁREZ 2000] Suárez, L.N. – **Conhecimento Sensorial – Uma Análise segundo a Perspectiva da Semiótica Computacional** – Tese de Mestrado – DCA-FEEC-UNICAMP.
- [SUÁREZ 2002] Suárez, L.N. – **Uma Proposta para o Desenvolvimento de Redes Neuro-Semióticas** – Proposta de Tese de Doutorado – (em desenvolvimento) – DCA-FEEC-UNICAMP.
- [SULOSKY 1996] Sulosky, M.F., **Semiotics Situational Control - JSM-type Reasoning and Q-analysis**, *Intelligent Systems: a semiotic perspective*, Proceedings of the 1996 International Multidisciplinary Conference, Vol. II: Applied Semiotics, Gaithersburg, Maryland, 1996.
- [TABORSKY 1998] Taborsky, E., **Architectonics of Semiosis**, Semaphores and Signs, St. Martins’s Press, New York, EUA, 1998.
- [TANENBAUM 2001] Tanenbaum, A.S. - **Modern Operating Systems** - Prentice Hall, ISBN 0130313580, 2 Ed., 2001.

- [TATAI 2000] Tatai, V.K. – **Técnicas de Sistemas Inteligentes Aplicadas ao Desenvolvimento de Jogos de Computador** – Proposta de Tese de Mestrado – Processo FAPESP 00/07631-6
- [TATAI 2001] Tatai, V.K. - **Técnicas de Sistemas Inteligentes Aplicadas ao Desenvolvimento de Jogos de Computador** – Relatório 1 - Relatório Técnico apresentado à FAPESP, Agosto de 2001.
- [TATAI 2002] Tatai, V.K. - **Técnicas de Sistemas Inteligentes Aplicadas ao Desenvolvimento de Jogos de Computador** – Relatório 2 - Relatório Técnico apresentado à FAPESP – Fevereiro de 2002.
- [VERSCHURE 1993] Verschure, P., **Formal Minds and Biological Brains - AI and Edelman's Extended Theory of Neuronal Group Selection**, IEEE Expert, October 1993, pp. 66-75.
- [VON ZUBEN 1996] Von Zuben, F.J. - **Modelos Paramétricos e Não-paramétricos de Redes Neurais Artificiais e Aplicações** - Tese de Doutorado - DCA-FEE-UNICAMP, Fevereiro 1996.
- [WEINGAERTNER 2002] Weingaertner, D. – **Uma Visão Semiótica das Redes Neuro-Energéticas** – Proposta de Tese de Mestrado – (em desenvolvimento) – DCA-FEEC-UNICAMP.
- [WIENER 1948] Wiener, N. - **Cybernetics**. Cambridge: M.I.T. Press, 1948.
- [WOOLDRIDGE 1995] Wooldridge, M.J.; Jennings, N.R. – **Intelligent Agents: Theory and Practice** – Knowledge Engineering Review – Vol. 10 – No. 2 – Cambridge University Press – 1995 – pp. 115-152.
- [WOOLDRIDGE ET.AL. 2001] Wooldridge M.J.; Weiss J.; Ciocarini, P. (editors) - **Agent-Oriented Software Engineering II** - Lecture Notes on Computer Sciences 2222 - Second International Workshop on Agent Oriented Software Engineering - Revised Papers and Invited Contributions - Montreal, Canada, May, 2001.
- [YAROSLAVSKY 1992] Yaroslavsky, L.B.E - **Neuroenergetic Concept of Intelligence** - 1992) <http://www.aha.ru/~pvad/concept.htm>.
- [YASHCHENKO 1994] Yashchenko, V. A., **Neural Growing Networks as a Model of an Intelligent Multimicroprocessor System with a Neuron-Ensemble Structure**, Cybernetics and Systems Analysis, Vol. 30. No. 3, 1994, (January 1995) pp. 348-364.
- [YASHCHENKO 1996A] Yashchenko, V. A., **Receptor-Effector Neural Growing Networks as na Efficient Tool for Intelligence Modelling. I**, Cybernetics and Systems Analysis, Vol. 31. No. 4, 1995, (March 1996a) pp. 524-530.
- [YASHCHENKO 1996B] Yashchenko, V. A., **Receptor-Effector Neural Growing Networks as na Efficient Tool for Intelligence Modelling. II**, Cybernetics and Systems Analysis, Vol. 31. No. 5, 1995, (May 1996b) pp. 711-717.

- [YASHCHENKO 1996] Yashchenko, V. A. and Rabinovich, Z. L., **Approach to Modeling Thought Processes by Neural Growing Nets**, Cybernetics and Systems Analysis, Vol. 32, No. 5, 1996, (May 1997) pp. 615-624.
- [YASHCHENKO 1998] Yashchenko, V. A., **Bionic Approach to Knowledge Representation in Intelligent Systems. I**, Cybernetics and Systems Analysis, Vol. 34, No. 1, 1998 (September 1998) pp 1-11.
- [ZURADA 1994] Zurada, J.M.; Marks II, R.J.; Robinson, C.J., Editors - **Computational Intelligence - Imitating Life** - IEEE Press, 1994.