

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial



Conhecimento Sensorial - Uma Análise segundo a perspectiva da Semiótica Computacional

Lizet Liñero Suárez

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ribeiro Gudwin

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ricardo Ribeiro Gudwin
DCA/ FEEC/ UNICAMP

Prof. Dr. Maurício Fernandes Figueredo
UEM/ Maringá

Prof. Dr. Marcio Luiz Andrade Netto
DCA/ FEEC/ UNICAMP

Prof. Dr. Fernando José Von Zuben
DCA/ FEEC/ UNICAMP

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Engenharia Elétrica e de
Computação (FEEC) da Universidade
Estadual de Campinas (UNICAMP),
como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Automação

Dissertação de Mestrado
Campinas – SP – Brasil

2000

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

L645c Liñero Suárez, Lizet
Conhecimento sensorial- uma análise segundo a
perspectiva da semiótica computacional / Lizet Liñero
Suárez.--Campinas, SP: [s.n.], 2000.

Orientador: Ricardo Ribeiro Gudwin
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de
Computação.

1. Sistemas inteligentes de controle. 2. Semiótica. 3.
Detectores. I. Gudwin, Ricardo Ribeiro. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.

*Aos meus pais, meu marido, meu
irmão, minha sobrinha e meus avós.*

Agradecimentos

Agradeço ao Professor Ricardo R. Gudwin por sua orientação, pelas valiosas sugestões para o desenvolvimento deste trabalho e pelas grandes experiências adquiridas profissionalmente.

A meu marido Franklin por sua paciência, amor, dedicação e sua compreensão nos momentos difíceis.

Aos meus pais Dania e Fidel, pelo amor, educação e apoio incondicional em todos os momentos e por sempre confiarem em mim.

Ao meu irmão, minha sobrinha Samira, meus avós, minha cunhada Ivett, meus tios e meus primos por seu apoio de sempre, apesar da distância.

À minha sogra Gladys, minha cunhada Yuzell, minhas sobrinhas Yuzell e Yisell, Carlos Pérez, Jose A. Corrales, Carlos Garcia e Vladimir por sua preocupação e apoio.

A meu irmão e grande amigo José Antonio por sua ajuda tanto pessoal como profissional, por seu carinho e amizade e por estar ao meu lado nos momentos bons e difíceis.

A meu grande amigo e irmão Luis A. Ramirez, por estar ao meu lado nos momentos bons e difíceis e por conservar nossa amizade por tanto tempo.

Às minhas grandes amigas Caterine e Annia, que apesar de estarem distantes, sempre estão junto a mim.

A Maria Eugenia e Electo Silva, por serem outra família para mim no Brasil, por seus conselhos e ajuda.

Aos meus grandes amigos Zaida e Vicente que desde meus primeiros momentos no Brasil me ofereceram sua mão amiga.

A meus amigos cubanos Miguel A., Celeste, Lino, Lisyenia, Wilson, Maximino, Diana, Juan Carlos H., Daynet, Marta Inés, Luis Mariano, Annabell, Raul, Sahudy, Odalis, Eduardo Huerta, Annia, por estarem ao meu lado em todos os momentos.

A meus amigos Magali e Pedro Chávez por seu estímulo tanto no meu trabalho, como em minha vida pessoal.

A meu amigo e colega Daniel Ojeda, por sua valiosa ajuda na realização efetiva deste trabalho.

A meu colega e amigo Mário Ernesto por suas valiosas contribuições no trabalho e por seu carinho no dia a dia.

A meus amigos Esther, Cida, Isolina, Cristina, Luisa, Rosa, Edmundo Spoto, Antônio Sérgio, Ellen, Mirian, Paulo, Raquel, Alexandra, Eduardo Trevisan, Emilia, Rosangela, Vivianne, Daniela, Thaís, Verena e Rafael, por toda a ajuda e hospitalidade, que me fazem sentir o Brasil como minha segunda terra.

A Rosa pela ajuda, preocupação e o carinho de mãe proporcionado na minha estância no Brasil.

Ao professor Fernando Von Zuben pelo aprendizado e contribuições proporcionados ao longo dos cursos.

Aos professores Claudio Cabezas, Francisco Chang e Israel Mazaira pelos conhecimentos proporcionados na minha formação.

Ao colega Evandro por suas contribuições no desenvolvimento deste trabalho.

A todos meus amigos de Cuba que sempre me trouxeram alento em todos os momentos.

A todos os amigos e colegas do LCA por sua companhia diária.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro, através da bolsa de estudos, que permitiu a concretização do desenvolvimento deste trabalho.

Resumo

Nos últimos anos, os fenômenos da inteligência e conhecimento vêm sendo intensamente investigados, principalmente dentro do escopo dos sistemas inteligentes e suas aplicações em engenharia. Este estudo vem sendo corroborado pela associação de suas questões mais elementares ao estudo da semiótica. Neste contexto, a semiótica apresenta uma teoria sólida e promissora para a representação e uso de diferentes tipos de conhecimentos em sistemas naturais e artificiais. O objetivo desta tese é iniciar um aprofundamento no estudo envolvendo semiótica e sistemas inteligentes, fazendo uma análise mais detalhada de um dos tipos de conhecimento mais elementares em qualquer sistema inteligente: o conhecimento sensorial, sumarizando assim as diferentes maneiras pelas quais esse tipo de conhecimento se manifesta. Para realizar este estudo, será feita uma análise dos tipos de sensores usualmente utilizados em sistemas artificiais, tendo em vista o tipo de conhecimento e o processamento das informações que estes estão a expressar, e não características tecnológicas. Em seguida, colocamos um exemplo de aplicação no qual se manifesta o conhecimento sensorial e como este tipo de conhecimento se transforma em outros conhecimentos mais sofisticados.

Palavras-Chave: Sistemas Inteligentes, Semiótica Computacional, Conhecimentos, Sensores.

Abstract

Over the last few years, the intelligence and knowledge phenomenon have been intensively investigated, mainly within the scope of intelligent systems and their engineering applications.

This research has been corroborated by the association of elementary questions to semiotic study. In this context, the semiotic introduces a solid and promising theory for the representation and use of different type of knowledge in natural and artificial systems. The objective of this dissertation is first to make a profound study involving semiotic and intelligent systems, making a detailed analysis of one of the most elementary kind of knowledge in any intelligent system: the sensorial knowledge, thus summarizing the different ways and how this kind of knowledge can be expressed. In order to do this study, it is make an analysis of the different kinds of sensors used in artificial systems, keeping in mind the kind of knowledge and information processing they are to expressing, but not their technological characteristic. We given a application example in which the sensorial knowledge manifest itself and become into other kind of advanced knowledge.

Key- words: Intelligent systems, Computational semiotic, Knowledge's, Sensors.

Conteúdo

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	1
1.1.- PRÓLOGO	1
1.2.- MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS	3
1.3.- ESTRUTURA DA TESE	4
1.4.- RESUMO	5
CAPÍTULO 2. SISTEMAS INTELIGENTES E SEMIÓTICA	7
2.1.- INTRODUÇÃO	7
2.2.- MÓDULOS DO SISTEMA INTELIGENTE	12
2.2.1.- Sensor (S)	12
2.2.2.- Atuadores (A)	12
2.2.3.- Processamento Sensorial (PS). Percepção	13
2.2.4.- Modelo do Mundo (MM)	13
2.2.5.- Julgamento de Valores (JV)	13
2.2.6.- Geração de Comportamento (GC)	14
2.3.- INTEGRAÇÃO ENTRE OS MÓDULOS	14
2.4.- ARQUITETURA-MODELO PARA UM SISTEMA INTELIGENTE	16
2.5.- PANORAMA SEMIÓTICO PARA SISTEMAS INTELIGENTES	17
2.5.1.- Diagrama Six-Box	19
2.5.2.- O Processo de Extração de Significado	19
2.6.- A SEMIOSE DE MEYSTEEL E OS SISTEMAS INTELIGENTES	23
2.7.- RESUMO	25
CAPÍTULO 3. SEMIÓTICA COMPUTACIONAL	27
3.1.- INTRODUÇÃO	27
3.2.- SÍNTESE SEMIÓTICA	28
3.3.- INTÉRPRETE E ESPAÇO DE REPRESENTAÇÃO	29
3.4.- SIGNOS, INTERPRETANTES E SEMIOSES	34
3.5.- SINAIS, INFORMAÇÃO, SIGNOS E CONHECIMENTO	35
3.6.- UNIFICAÇÃO DA SEMIÓTICA COMPUTACIONAL	39
3.7.- UNIDADES DE CONHECIMENTOS	40
3.7.1.- <i>Conhecimento Remático</i>	41
3.7.1.1.- Conhecimento Remático Simbólico	42
3.7.1.2.- Conhecimento Remático Indicial	42
3.7.1.3.- Conhecimento Remático Icônico	42
3.7.1.3.1.- Conhecimento Sensorial	43
3.7.1.3.2.- Conhecimento de Objeto	43
3.7.1.3.3.- Conhecimento de Ocorrência	44
3.7.2.- <i>Conhecimento Dicente</i>	45
3.7.3.- <i>Conhecimento Argumentativo</i>	45
3.8.- CRIANDO UM MODELO COMPUTÁVEL	47
3.9.- RESUMO	50
CAPÍTULO 4. ANÁLISE DO CONHECIMENTO SENSORIAL	51
4.1.- INTRODUÇÃO	51
4.2.- DEFINIÇÃO DE SENSOR	52
4.3.- O SENSOR SOB O PONTO DE VISTA DA SEMIÓTICA PEIRCEANA	53
4.4.- TAXONOMIA DE SENSORES	58

4.4.1.- Sensores Segundo sua Posição	60
4.4.2.- Sensores Segundo sua Dimensão	62
4.4.3.- Sensores Segundo seu Sinal	63
4.4.4.- Exemplos de Tipos de sensores	66
4.5.- RESUMO	76
CAPÍTULO 5. CONTROLE INTELIGENTE DO VEÍCULO AUTÔNOMO - INFLUÊNCIA DO CONHECIMENTO SENSORIAL	79
5.1.- INTRODUÇÃO	79
5.2.- DESCRIÇÃO DO PROBLEMA DA NAVEGAÇÃO	80
5.2.1.- Descrição do veículo	80
5.2.1.1.- Sensores de Informação Remota	81
5.2.1.2.- Sensores de contato	82
5.2.1.3.- Atuadores de Posição dos Sensores Remotos	82
5.2.1.4.- Atuadores de movimentação do veículo	83
5.3.- DESCRIÇÃO DO AMBIENTE PARA MOVIMENTAÇÃO DO VEÍCULO AUTÔNOMO	83
5.4.- SISTEMA DE CONTROLE INTELIGENTE	84
5.4.1.- Módulos do Sistema de Controle	85
5.4.1.1.- Módulo da Interface de Entrada (MIE)	86
5.4.1.2.- Módulo de Percepção e Modelagem do Ambiente (MPMA)	87
5.4.1.3.- Módulo de Geração de Pontos e Arcos (MGPA)	89
5.4.1.4.- Módulo de Geração e Otimização da Trajetória (MGOT)	95
5.4.1.5.- Módulo de Controle Motor (MCM)	97
5.4.1.6.- Módulo de Controle Visual (MCV)	99
5.4.1.7.- Módulo de Interface de Saída (MIS)	101
5.4.1.8.- Coordenação dos Módulos da Rede	103
5.4.1.9.- Resultados	104
5.5.- INFLUÊNCIA DO CONHECIMENTO SENSORIAL NO CONTROLE DO VEÍCULO AUTÔNOMO	108
5.6.- RESUMO	109
CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	111
6.1.- TRABALHOS FUTUROS	112
ANEXO A. ASPECTOS GERAIS DA SEMIÓTICA PEIRCEANA	115
A.1.- INTRODUÇÃO	115
A.2.- SEMIÓTICA PEIRCEANA. ASPECTOS GERAIS	117
A.2.1.- Objeto	118
A.2.2.- Interpretante	119
A.3.- AS CATEGORIAS DA EXPERIÊNCIA	120
A.3.1.- Primeiridade	121
A.3.2.- Secundidade	122
A.3.3.- Terceiridade	122
A.4.- FENÔMENO DA SEMIOSE	123
A.5.- TRICOTOMIAS ² DOS SIGNOS	124
A.5.1.- Primeira tricotomia	125
A.5.2.- Segunda tricotomia	126
A.5.3.- Terceira tricotomia	127
A.6.- CLASSES DE SIGNOS	128
A.7.- RESUMO	130
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
ÍNDICE REMISSIVO DE REFERÊNCIAS	139

Lista de Figuras

Figura 2.1. Módulos de um sistema inteligente e suas relações funcionais.	15
Figura 2.2. Arquitetura para um sistema inteligente.	17
Figura 2.3. Diagramas Six-Box.	19
Figura 2.4. Módulo principal da inteligência GFACS (a), Sistema multiresolucional usando GFACS (b).	20
Figura 2.5. Diagramas Six-Box com GFACS.	22
Figura 2.6. Ciclos de funcionamento do modelo Six-Box.	23
Figura 2.7. Diagrama funcional da semiose.	24
Figura 3.1. Espaço de representação.	29
Figura 3.2. Espaços compartilhados e não-compartilhados.	31
Figura 3.3. Exemplos de campos de interpretação para uma função, $\psi(x,y,t)$.	32
Figura 3.4. Espaços internos múltiplos e campos de interpretação.	33
Figura 3.5. Cadeia dos elementos fundamentais da semiótica computacional.	40
Figura 3.6. Classificação das unidades de conhecimentos.	41
Figura 3.7. Classificação dos argumentos.	46
Figura 3.8. Simplificação do modelo.	48
Figura 3.9. Micro-intérprete.	49
Figura 4.1. Representação do sensor sob o ponto de vista da semiótica peirceana.	54
Figura 4.2. Taxonomia de sensores.	59
Figura 4.3. Tipos de combinações de sinais: CT – CAG (a), CT – DAG (b), DT - CAG (c), DT – DAG (d).	65
Figura 4.4. Sensor de temperatura - termômetro.	67
Figura 4.5. Codificador óptico incremental.	68
Figura 4.6. Codificador óptico absoluto.	69
Figura 4.7. Sensor de proximidade por fibra óptica.	70
Figura 4.8. Multímetro digital.	70
Figura 4.9. Anemômetro 2D (a), Anemômetro 3D (b).	71
Figura 4.10. Princípio de funcionamento de um medidor da velocidade do fluxo de ar.	71
Figura 4.11. Câmera fotográfica analógica.	72
Figura 4.12. Câmera digital.	73
Figura 4.13. Sensor de proximidade de contato montado sobre o dedo de uma garra de um robô móvel.	75
Figura 4.14. Scanner.	76
Figura 5.1. Variáveis de interesse do veículo.	81
Figura 5.2. Exemplo de focalização dos sensores de informação remota.	81
Figura 5.3. Sensores de contato.	82
Figura 5.4. Atuadores da posição dos sensores de informação remota.	82
Figura 5.5. Sistema de controle inteligente para o veículo autônomo.	85
Figura 5.6. Módulo de interface de entrada.	86
Figura 5.7. Módulo de percepção e modelagem do ambiente.	87
Figura 5.8. Exemplos de reconhecimento de padrão.	88
Figura 5.9. Regras de integração de objetos.	89
Figura 5.10. Módulo de geração de pontos e arcos.	90
Figura 5.11. Geração de novos pontos segundo um ponto da CPV.	92
Figura 5.12. Geração de novos pontos segundo o modelo do ambiente.	92
Figura 5.13. Cálculo da distância até o objeto.	93
Figura 5.14. Avaliação de um arco - (a) arco tipo 2.-(b) arco tipo meta ou 3.	94
Figura 5.15. Módulo de geração e otimização da trajetória.	95
Figura 5.16. Eliminação de arcos redundantes da trajetória.	96
Figura 5.17. Otimização dos pontos da trajetória.	97
Figura 5.18. Módulo de controle motor.	97
Figura 5.19. Manobra do veículo.	98

<i>Figura 5.20. Curva mínima do veículo.</i>	99
<i>Figura 5.21. Módulo de controle visual.</i>	100
<i>Figura 5.22. Cálculo do centro de massa.</i>	101
<i>Figura 5.23. Módulo da interface de saída.</i>	102
<i>Figura 5.24. Simulação da navegação do veículo autônomo - Variante A. (a) veículo e objeto no ambiente antes do início da simulação - (b) primeiro plano gerado - (c) resultado da trajetória seguida pelo veículo até chegar à meta.</i>	105
<i>Figura 5.25. Simulação da navegação do veículo autônomo - Variante B. (a) veículo e objetos no ambiente antes do início da simulação - (b) primeiro plano gerado - (c) resultado da trajetória seguida pelo veículo até chegar à meta.</i>	106
<i>Figura 5.26. Simulação da navegação do veículo autônomo - Variante C. (a) veículo e objetos no ambiente antes do início da simulação - (b) primeiro plano gerado - (c) resultado da trajetória seguida pelo veículo até chegar à meta.</i>	107
<i>Figura A.1. Representação da relação triádica da semiótica peirceana.</i>	118
<i>Figura A.2. Diagrama representativo do processo de semiose.</i>	124

Lista de Tabelas

<i>Tabela 4.1. Legenda para tipos de sensores.</i>	60
<i>Tabela 5.1. Classes do módulo interface de entrada.</i>	86
<i>Tabela 5.2. Classes do módulo percepção e modelagem do ambiente.</i>	87
<i>Tabela 5.3. Classes do módulo de geração de pontos e arcos.</i>	91
<i>Tabela 5.4. Classes do módulo de geração e otimização da trajetória.</i>	95
<i>Tabela 5.5. Classes do módulo de controle motor.</i>	98
<i>Tabela 5.6. Classes do módulo de controle visual.</i>	100
<i>Tabela 5.7. Classes da interface de saída.</i>	102
<i>Tabela A.1. Representação das três tricotomias e sua correspondência com as três categorias da experiência.</i>	128
<i>Tabela A.2. Dez classes de signos. Exemplos.</i>	130

Lista de Definições

<i>Definição 4.1. Sensor</i>	53
<i>Definição 4.2 Sensor Fixo</i>	61
<i>Definição 4.3. Sensor Móvel</i>	61
<i>Definição 4.4. Sensor Unidimensional</i>	62
<i>Definição 4.5. Sensor Multidimensional</i>	62
<i>Definição 4.6. Sinal Híbrido.</i>	66

Capítulo 1. Introdução

1.1.- Prólogo

O fenômeno da inteligência é uma das características mais marcantes que distingue o ser humano em meio à natureza, de um modo geral. Não é para menos que este fenômeno atrai a atenção de filósofos e pesquisadores, documentadamente, desde o tempo dos gregos antigos, tais como Platão e Aristóteles.

Dentro do meio acadêmico, diversas áreas do conhecimento se ocupam do estudo da inteligência, muitas vezes com interesses distintos. Assim, vamos encontrar o interesse pelo estudo da inteligência na filosofia, por exemplo, dentro da área denominada “filosofia da mente”. Filósofos do porte de Aristóteles, Locke, Leibniz, Kant e outros mais modernos como Dennet e Churchland já nos brindaram com diversas teorias filosóficas sobre o funcionamento da mente e da consciência. Da mesma maneira, vamos encontrar o interesse pelo estudo do desenvolvimento da inteligência dentro da educação e da pedagogia. Vários nomes como os de Piaget, Vygotsky e outros buscam compreender como a inteligência se desenvolve no ser humano e como poderíamos otimizar esse desenvolvimento através de técnicas pedagógico-educativas. Na psicologia, psiquiatria e nas ciências da cognição, diversas teorias surgem (tais como a famosa teoria das múltiplas inteligências de Gardner [Gardner 1983] ou a teoria da inteligência emocional de Goleman [Goleman 1995]), tentando explicar características do mecanismo interno que, em tese, seria o responsável por facetas do fenômeno da inteligência humana. Em outras áreas, esse interesse pelos mecanismos da inteligência não é tão evidente, embora presente, tais como no estudo da retórica, da ciência política ou do *marketing*, onde se busca compreender como funciona a mente humana com o interesse explícito de dominá-la e manipulá-la. Por fim, dentro do âmbito das engenharias e das ciências da computação, não poderíamos deixar de citar as áreas da inteligência artificial e dos sistemas inteligentes, de um modo geral, que serão o objeto básico de discussão desta tese. Poderíamos nos alongar mais tentando apontar outras áreas do conhecimento onde o estudo da inteligência se mostra de interesse, mas nosso

objetivo aqui não é o de elaborar um compêndio sobre essa diversidade de interesses no estudo da inteligência, mas sim chamar a atenção para o fato de que esse estudo é de um caráter eminentemente **multi-disciplinar**. Essa multi-disciplinaridade cria um rico arsenal de concepções e hipóteses, quando se tenta desenvolver esse estudo particularmente em uma das áreas de interesse apontadas.

Propositadamente, omitimos da lista de áreas interessadas no estudo do fenômeno da inteligência, uma área que particularmente gostaríamos de abordar de maneira destacada. Trata-se da Semiótica, uma disciplina da área das ciências humanas que busca estudar o desenvolvimento da inteligência não como um fenômeno isolado, mas como um fenômeno **próprio da natureza**, que se manifesta na capacidade que surge em sistemas e seres de criar, manipular e interpretar signos [Deely 1990, Eco 1976, Netto 1980, Noth 1995, Noth 1998, Peirce 1960, Peirce 1995, Pinto 1995, Santaella 1983, Santaella 1992, Santaella 1995, Santaella 1998].

Apesar do grande interesse no estudo da inteligência para construir sistemas computacionais que emulem comportamentos inteligentes, apenas recentemente vem sendo buscada uma compreensão desse fenômeno de maneira sistematizada e organizada, considerando-se os paradigmas da semiótica. Dentre as abordagens encontradas na literatura, destacamos o trabalho pioneiro de Albus [Albus 1991, Albus & Meystel 1996, Albus & Meystel 1997, Albus 1997]. Nestes trabalhos, Albus apresenta definições e teoremas verbais, que enfatizam o caráter semiótico da sua concepção e apontam para a necessidade de sua formalização.

Explorando as características semióticas insinuadas no trabalho de Albus, como uma ciência dos signos em processos de significação, acabamos por encontrar um desenvolvimento desta idéia nos trabalhos de Meystel [Meystel 1996] com a sua *“Semiótica Multiresolucional”* e Gudwin [Gudwin 1996], com a sua *“Semiótica Computacional”*. Em ambos os casos, o objetivo que se persegue é a formalização dos sistemas inteligentes baseados em conceitos semióticos.

Encontramos, na literatura da inteligência artificial, uma miríade de definições para o que seriam sistemas inteligentes, desde as mais ingênuas até as mais elaboradas. Uma das definições mais abrangentes, no entanto, é a que define um Sistema Inteligente como um sistema capaz de apresentar comportamentos semelhantes aos animais. Um sistema que,

interagindo com o mundo, obtém informações, por meio de processos perceptivos e constrói seu próprio conhecimento por meio das interações com o ambiente.

Nosso objetivo aqui, portanto, é tentar adicionar conteúdo às técnicas atuais utilizadas na construção de sistemas inteligentes, por meio da consideração do paradigma semiótico. No sentido de contribuir com esta empreitada, desenvolve-se pois essa tese.

1.2.- Motivação e Objetivos

Como se apresentou, de passagem, na seção anterior, existem poucos trabalhos dentro da literatura da inteligência artificial e dos sistemas inteligentes que analisam o fenômeno da inteligência de maneira integrada e organizada. Um dos mais recentes, desenvolvido por Gudwin [Gudwin 1996], acabou por plantar as sementes de toda uma área de estudos que foi denominada de “Semiótica Computacional”. A principal motivação desta tese vem no sentido de contribuir para a Semiótica Computacional, alavancando-a como área de estudos dentro do contexto dos sistemas inteligentes. Particularmente, nesta tese, pretende-se avaliar a importância do chamado **conhecimento sensorial** para a construção de sistemas inteligentes autônomos.

No trabalho iniciado por Gudwin, este propôs uma classificação de diferentes tipos de conhecimentos, baseada na natureza dos fenômenos que ocorrem no mundo. Esta classificação divide, em seu primeiro nível, os conhecimentos entre Conhecimentos Remáticos, Dicientes e Argumentativos. O Conhecimento Remático (conforme abordaremos mais à frente nesta tese, onde essa classificação será recapitulada) é o conhecimento gerado pela interpretação de remas, ou termos, onde os termos são utilizados para referenciar fenômenos que ocorrem no ambiente. Este conhecimento, é decomposto posteriormente em icônico, indicial e simbólico. Mais especificamente, o conhecimento remático icônico é dividido ainda entre sensorial, de objetos e de ocorrências.

É exatamente dentro do contexto desta sub-divisão dos conhecimentos onde se apresenta a motivação básica desta tese. O objetivo principal é aprofundar o trabalho iniciado por Gudwin, estudando de maneira mais detalhada um dos tipos de conhecimento mais elementar e importante, presente em qualquer Sistema Inteligente: o conhecimento sensorial. O que se pretende é analisar o dispositivo sensorial, a partir de uma perspectiva

semiótica, e de posse dessa análise, acrescentar novas folhas à árvore de tipos de conhecimentos iniciada por Gudwin. Para tanto, propomos uma classificação de tipos de sensores, considerando o tipo de conhecimento e o modo de processamento das informações que estes expressam, considerando mais acuradamente seus aspectos semióticos, em detrimento de seus aspectos tecnológicos.

É importante destacar que a escolha do conhecimento sensorial como foco de análise se dá pelo fato de que este é o ponto de partida para a construção de qualquer outro tipo de conhecimento mais sofisticado. Com a análise do conhecimento sensorial ganhamos um sólido conhecimento, que além de, em si só, ser importante para o desenvolvimento de qualquer sistema inteligente, é fundamental para o estudo da gênese dos outros tipos de conhecimentos mais elaborados, estudo que demanda uma base bem clara e sólida de seus elementos constituintes, de modo a termos subsídios para a criação de hipóteses consistentes referentes a seu modo de formação.

Por fim, para que esse estudo não ficasse restrito a aspectos puramente teóricos, desenvolvemos um exemplo de aplicação no qual pretendemos explicitar e observar como se manifesta o conhecimento sensorial e como este se transforma em outros conhecimentos mais elaborados. Este exemplo está baseado no controle da navegação de um veículo autônomo que realiza seu percurso até chegar a uma meta especificada, evitando obstáculos do ambiente (designados pelo usuário).

Poderíamos portanto localizar as contribuições desta tese no aprofundamento da compreensão do conhecimento sensorial, de acordo com sua fundamentação na Semiótica Computacional [Gudwin 1996], sempre com vistas à concepção e desenvolvimento de sistemas inteligentes.

1.3.- Estrutura da Tese

Esta tese se encontra estruturada da seguinte maneira:

- No Capítulo 2 apresenta-se a arquitetura-modelo para sistemas inteligentes proposta por Albus [Albus 1991, Albus & Meystel 1996, Albus & Meystel 1997, Albus 1997], bem como a “Semiótica Multiresolucional” [Meystel 1996], proposta por Meystel para a modelagem de sistemas inteligentes.

- No Capítulo 3 apresenta-se a “Semiótica Computacional” [Gudwin 1996], inspirada nos conceitos da semiótica peirceana [Anexo A], que, como ressaltamos, visa a formalização de sistemas inteligentes. Além da concepção semiótica em si, apresentamos a classificação de tipos de conhecimentos, um dos quais, o conhecimento sensorial, se pretende analisar no próximo capítulo.
- No Capítulo 4 realizamos um aprofundamento do Conhecimento Sensorial, promovendo uma análise semiótica do dispositivo sensorial, e derivando uma classificação de sensores que resume as diversas maneiras por meio das quais podemos obter este conhecimento.
- No Capítulo 5 apresenta-se um exemplo de aplicação baseado no controle de um veículo autônomo, onde ilustramos a importância do conhecimento sensorial para o desenvolvimento do controle inteligente.
- No Capítulo 6 apresentamos as conclusões, onde explicitamos as contribuições trazidas por este trabalho e os trabalhos futuros que possam dar continuidade aos desenvolvimentos trazidos por esta tese.
- No Anexo A apresentamos um panorama resumido da “semiótica peirceana”, teoria desenvolvida por *Charles Sanders Peirce* (1834-1914), filósofo americano, considerado o pai do pragmatismo. Este apêndice foi introduzido com o intuito de apresentar e detalhar alguns conceitos básicos da semiótica que são utilizados e assumidos conhecidos durante os diferentes capítulos da tese.

No final, são apresentadas as Referências Bibliográfica e o Índice Remissivo de Referências.

1.4.- Resumo

Neste capítulo fizemos a apresentação geral desta tese. Na introdução enfatizamos a multi-disciplinaridade do estudo do fenômeno da inteligência, e o potencial de exploração desta multi-disciplinaridade no desenvolvimento de novas teorias e concepções em áreas de pesquisa particulares. Em seguida, apresentou-se a semiótica como promitente contribuinte para o estudo do fenômeno da inteligência, especificamente na área de sistemas inteligentes [Albus 1991, Albus & Meystel 1996, Gudwin 1996, Albus & Meystel 1997, Albus 1997].

Depois, delineamos a motivação e os objetivos fundamentais deste trabalho, como uma contribuição à Semiótica Computacional [Gudwin 1996], por meio de um estudo aprofundado dos chamados conhecimentos sensoriais.

Dadas essas apresentações, detalhamos a estrutura que o leitor encontrará na leitura desta tese.

No próximo capítulo, realizaremos uma contextualização do uso da semiótica em relação aos sistemas inteligentes, além de uma breve explanação dos trabalhos desenvolvidos por Albus e Meystel nesta área.

Capítulo 2. Sistemas Inteligentes e Semiótica

2.1.- Introdução

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 verdade 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, a diferença entre a proposta semiótica e a abordagem simbólica da inteligência artificial clássica era que a semiótica considerava o símbolo como 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.

Dentro do espírito de se investigar as possíveis contribuições da semiótica para o estudo dos sistemas inteligentes, foram realizados de 1996 a 1999 diversas conferências internacionais dedicadas a este tema. Este grupo de conferências, o International Conference on Intelligent Systems and Semiotics, ocorreu em 1996, 1997 e 1998 em Gaithersburg, Maryland, nos Estados Unidos, sediadas e organizadas pelo NIST (National Institute on Standards in Technology), e patrocinadas 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 [Meystel 1996], uma nova linha de pesquisa começava a se desenvolver [Albus 1997, Albus & Meystel 1997], tentando caracterizar e modelar os princípios básicos por trás do comportamento dos sistemas inteligentes.

Neste capítulo, apresentaremos as principais idéias relacionadas à arquitetura do Sistema Inteligente proposto por Albus [Albus 1991, Albus 1997, Albus & Meystel 1997], bem como a proposta da Semiótica Multiresolucional do Meystel [Meystel 1996].

Partiremos de uma definição simples de “**inteligência**”, a qual iremos enriquecendo gradativamente, visando uma melhor compreensão do que compreendemos como Sistema Inteligente. Um conjunto de requisitos mínimo para uma inteligência, portanto, 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 as palavras de 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.

2.2.- Módulos do Sistema Inteligente

Um sistema inteligente, segundo Albus, é composto por quatro módulos (ou sub-sistemas) [Albus 1991, Albus 1997, Albus & Meystel 1997]: 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 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.

2.2.1.- Sensor (S)

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.

2.2.2.- Atuadores (A)

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.

2.2.3.- Processamento Sensorial (PS). Percepção

Conforme dissemos, os sensores alimentam o módulo de Percepção Sensorial. Esse é o módulo responsável pelo mecanismo da percepção, ou também chamado de 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.

2.2.4.- Modelo do Mundo (MM)

O modelo do mundo é o principal módulo do Sistema Inteligente. Ele 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.

2.2.5.- Julgamento de Valores (JV)

Um Sistema Inteligente utiliza o módulo de julgamento de valores para realizar diversas avaliações. Mais especificamente, determina modelos factíveis ou não factíveis, avalia os estados observados do mundo e os resultados obtidos dos planos hipotéticos, atribui medidas de atração ou repulsão aos objetos, eventos e regiões do espaço, calcula o custo,

risco e benefício de situações observadas e atividades planejadas e provê a base para a tomada de decisões.

2.2.6.- Geração de Comportamento (GC)

O módulo de geração de comportamento deve ser capaz de gerar metas, planos, objetivos e executar tarefas. As tarefas são recursivamente decompostas em sub-tarefas e são sequenciadas para executar metas. As metas são selecionadas e os planos são gerados por meio de uma interação cíclica entre os módulos de geração de comportamento, modelo do mundo e julgamento de valores. O módulo de geração de comportamento gera planos. O módulo de modelo do mundo prediz os resultados destes planos e o módulo de julgamento de valores avalia seu desempenho. Logo, o módulo de geração de comportamento seleciona aqueles planos que obtenham a maior resultado de avaliação para serem executados por meio dos atuadores. Este, também monitora a execução de planos anteriores, modificando-os caso seja 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.

2.3.- Integração entre os Módulos

Na Figura 2.1 representamos as relações entre cada um destes módulos, e a comunicação do sistema com o mundo, realizada por meio dos sensores e atuadores.

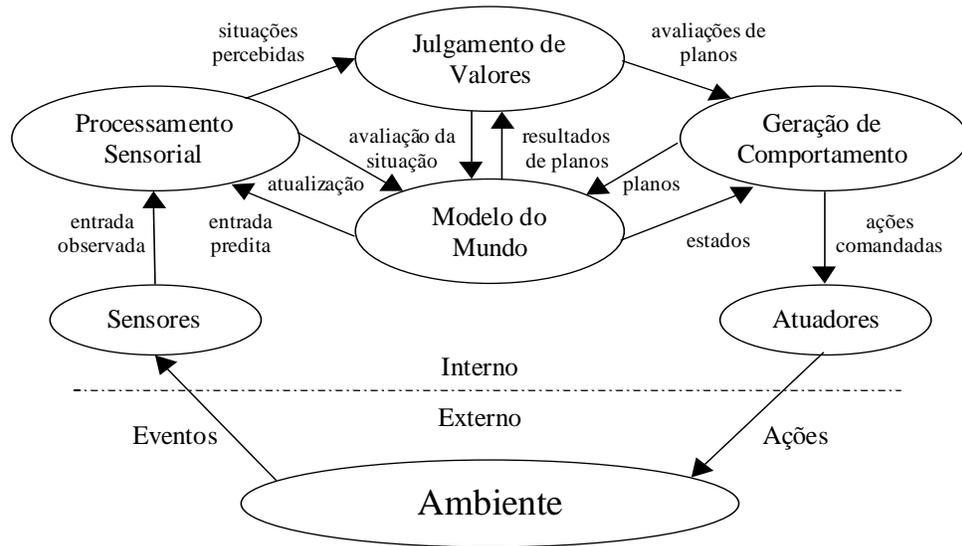


Figura 2.1. Módulos de um sistema inteligente e suas relações funcionais.

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.

2.4.- *Arquitetura-Modelo para um Sistema Inteligente*

Utilizando como base os módulos descritos anteriormente, uma arquitetura modelo para um sistema inteligente foi proposta por Albus em [Albus1991, Albus & Meystel 1996, Albus 1997, Albus & Meystel 1997] tendo sido denominada de *RCS (Real-Time-Control System)*. Esta pode ser observada na Figura 2.2. 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 2.1.

Na Figura 2.2 se observa como a arquitetura do sistema proposto replica e distribui as relações da Figura 2.1 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.

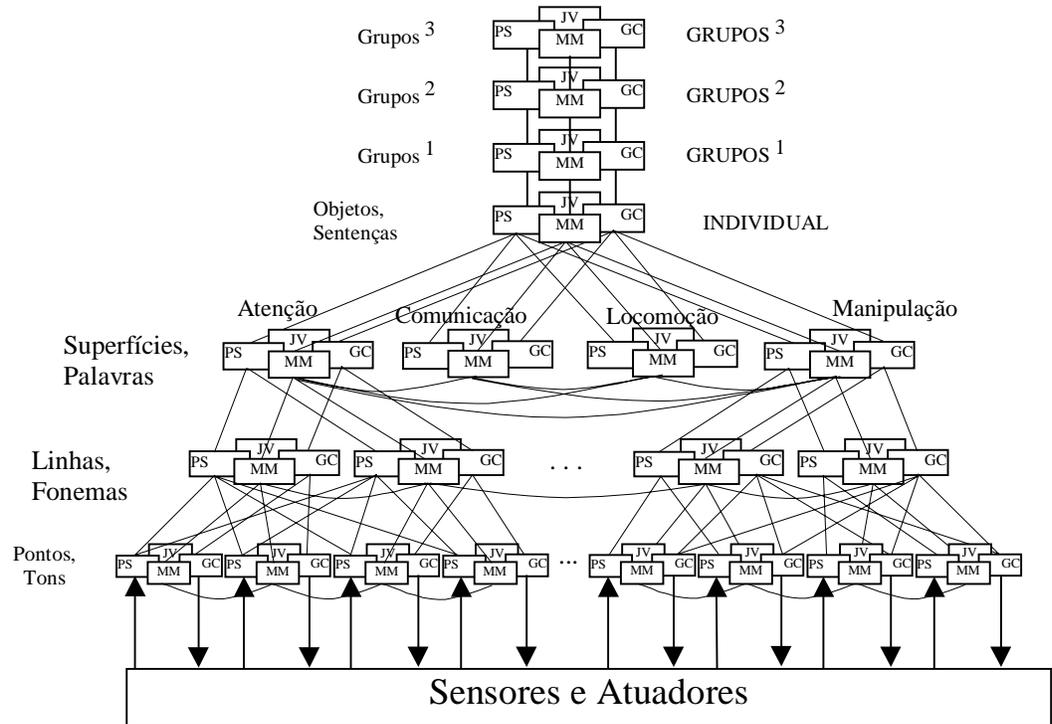


Figura 2.2. Arquitetura para um sistema inteligente.

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 retroalimentação 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 1998].

2.5.- 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 [Meystel 1996]. Nesta e nas próximas seções, apresentaremos os elementos constituintes desse modelo e

analisaremos o impacto das propostas de Albus e Meystel para a compreensão dos sistemas inteligentes.

A abordagem semiótica de Meystel não utiliza a teoria semiótica Peirceana, mas é derivada principalmente de desenvolvimentos na semiótica russa, originariamente trazida para o contexto da teoria de sistemas por Dmitri Pospelov e seu Controle Situacional [Pospelov 1991]. 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 sensoreamento, 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 1991]. 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.

2.5.1.- 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 2.3.

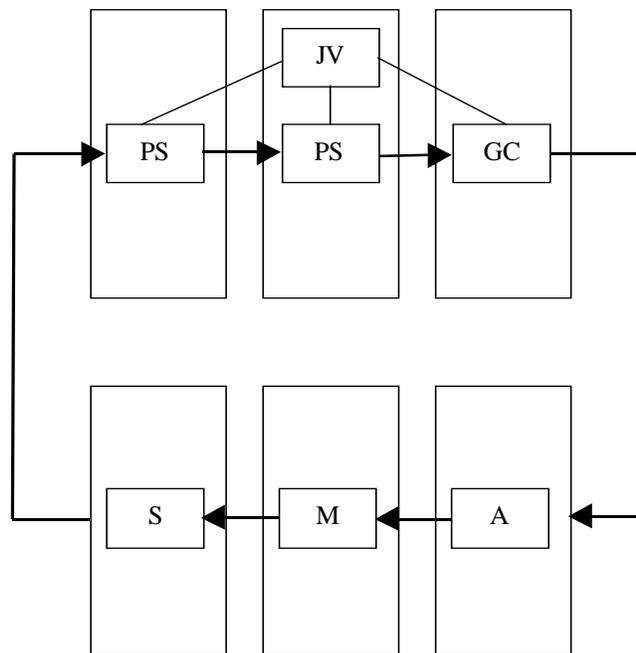


Figura 2.3. Diagramas *Six-Box*.

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.

2.5.2.- 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. [Meystel 1996]. Na Figura 2.4a, 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.

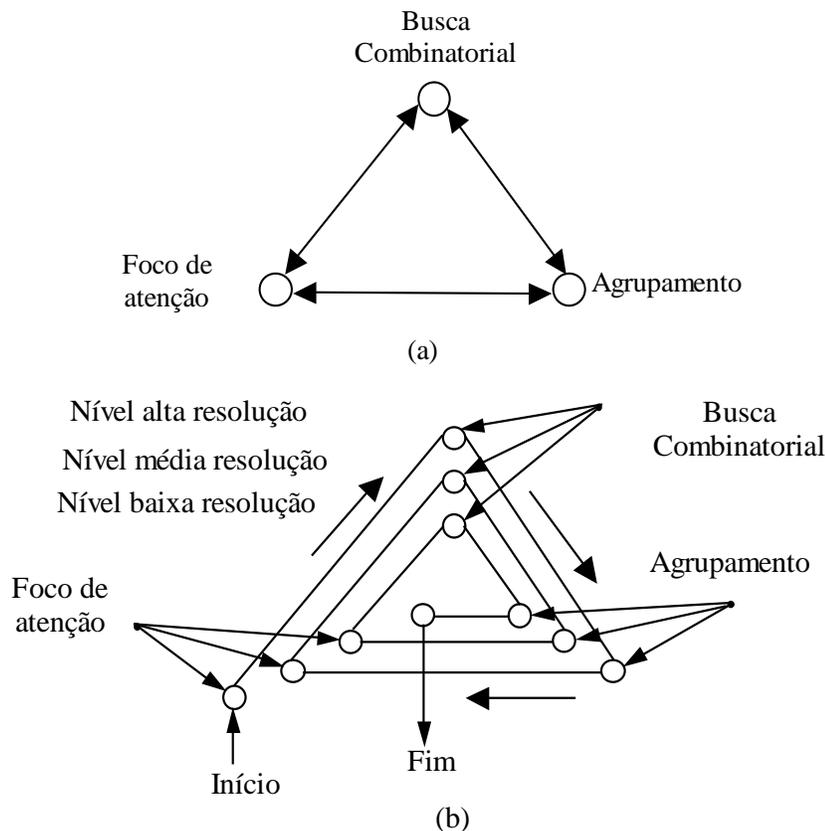


Figura 2.4. Módulo principal da inteligência GFACS (a), Sistema multiresolucional usando GFACS (b).

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 2.4b, pode-se observar um GFACS multiresolucional com três níveis de resolução.

Observemos a Figura 2.4b, 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.

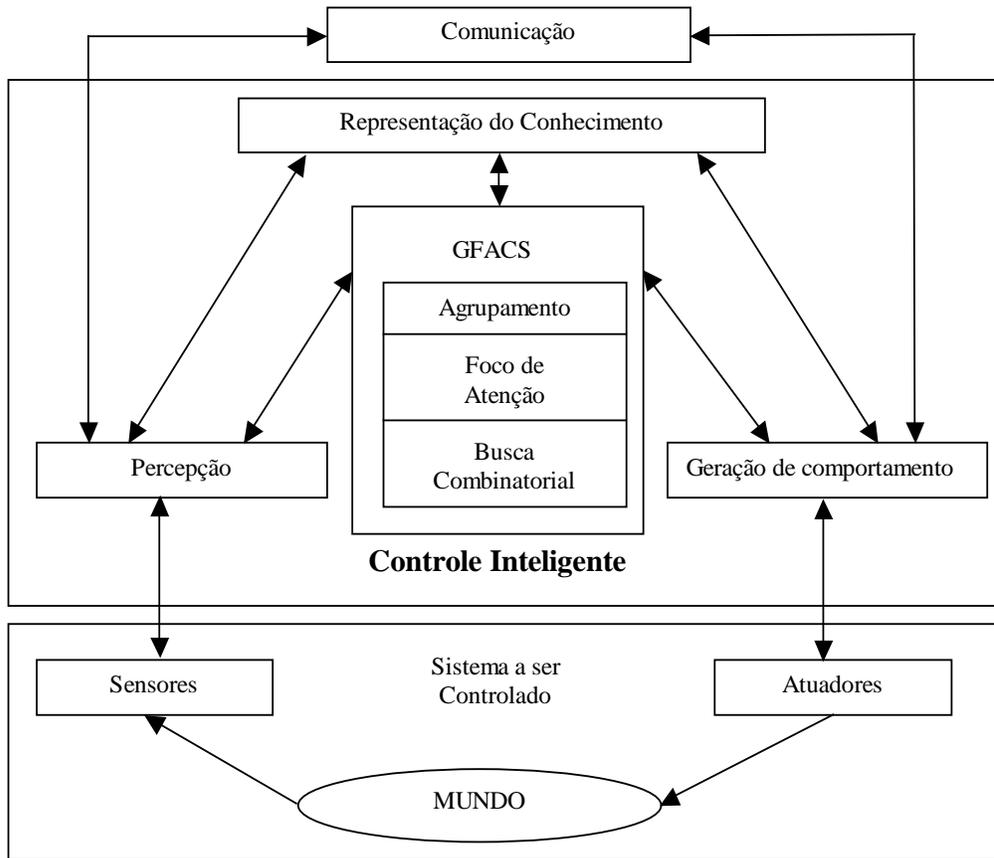


Figura 2.5. Diagramas Six-Box com GFACS.

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 2.5, apresenta-se uma modificação do diagrama *Six-Box*, onde se explicita o papel do GFACS [Meystel 1996].

Na Figura 2.6 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 1998].

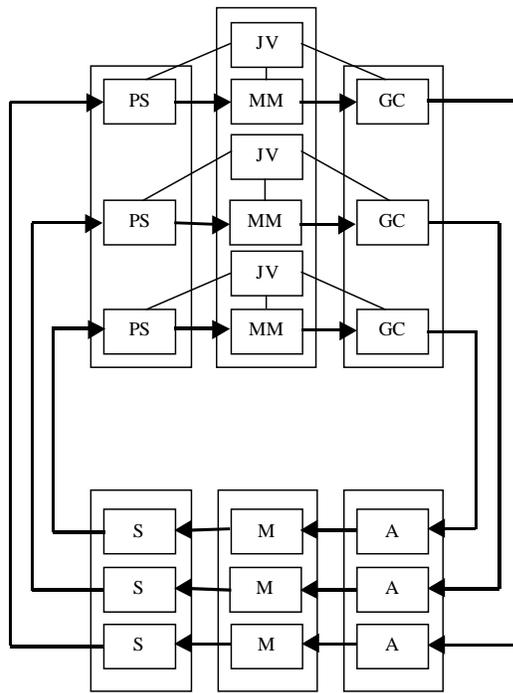


Figura 2.6. Ciclos de funcionamento do modelo *Six-Box*.

2.6.- 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 [Meystel 1995]). Nessa tentativa, Meystel cria o diagrama apresentado na Figura 2.7, onde tenta unificar diversos

conceitos, dentre eles a idéia de signo, objeto e interpretante, sintaxe, semântica e pragmática (segundo 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 [Meystel 1996].



Figura 2.7. 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.

No próximo capítulo, mostraremos como a Síntese Semiótica de Gudwin [Gudwin 1996, Gudwin 1999b] (também chamada de Semiótica Computacional) vem para complementar e somar-se ao trabalho de Albus e Meystel, resgatando conceitos oriundos da semiótica Peirceana e trazendo um pouco mais de compreensão para essa nova forma de se estudar os sistemas inteligentes.

2.7.- Resumo

Neste capítulo apresentou-se uma retrospectiva dos desenvolvimentos nos estudos dos sistemas inteligentes, iniciando-se pela inteligência artificial, mostrando-se os problemas nesta área de estudos que acabaram por fazer surgir a inteligência computacional, bem como o porquê da necessidade da introdução da semiótica no estudo dos sistemas inteligentes. Em seguida, 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 [Meystel 1996] e a Semiótica clássica. Por fim, comentou-se das deficiências do modelo Albus-Meystel, preparando o leitor para o próximo capítulo.

Capítulo 3. Semiótica Computacional

3.1.- Introdução

Neste capítulo abordamos a **Semiótica Computacional** [Gudwin 1996, Gudwin & Gomide 1997a, Gudwin & Gomide 1997b, Gudwin & Gomide 1997c, Gudwin & Gomide 1999, Gudwin 1999b], uma disciplina que visa o estudo, análise e desenvolvimento de sistemas inteligentes baseados em conceitos da semiótica peirceana.

A Semiótica Computacional, pode ser considerada como uma tentativa paralela à Semiótica Multiresolucional proposta por Meystel [Capítulo 2] e tem por objetivo a síntese e simulação do processo de semiose [Anexo A] em um computador digital. Entre as principais metas, estão a construção de Sistemas Autônomos Inteligentes, capazes de manifestar comportamentos inteligentes, que incluem percepção, modelo do mundo, julgamento de valores e geração de comportamento. Considera-se que grande parte do comportamento inteligente em seres autônomos deve-se ao processamento de signos que ocorre 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. A inteligência deste sistema dependerá, portanto, da quantidade de signos e tipos de signos que este está apto a processar. Atualmente, a modelagem matemática destes sistemas é um dos principais focos de interesse de muitos pesquisadores que estudam a interação entre a semiótica e os sistemas inteligentes.

Segundo Gudwin, a semiótica peirceana [Deely 1990, Eco 1976, Netto 1980, Noth 1995, Noth 1998, Peirce 1960, Peirce 1995, Pinto 1995, Santaella 1983, Santaella 1992, Santaella 1995, Santaella 1998] além de estudar os processos de **significação** (como são criados os signos, como estes são usados e o que significam) e **representação**, é uma base para o entendimento dos aspectos básicos dos fenômenos da **cognição** e da **comunicação**. A cognição é utilizada para a apreensão e compreensão dos fenômenos que ocorrem no ambiente. A comunicação serve para estudar como os fenômenos aprendidos e

compreendidos são transmitidos entre os seres inteligentes. Neste sentido, o conceito de **signo** pode ser explorado para a realização destas atividades [Anexo A].

Assim, podemos dizer que a Semiótica Computacional pode ser vista como uma proposição de um conjunto de metodologias que, de alguma forma, tenta usar os conceitos e a terminologia da semiótica peirceana, mas compondo um *framework* adequado para ser usado na construção de sistemas artificiais, implementáveis em computadores. Nas seções seguintes serão apresentados os aspectos fundamentais da “**Semiótica Computacional**” proposta por Gudwin [Gudwin 1996, Gudwin 1999b].

3.2.- Síntese Semiótica

A abordagem proposta por Gudwin [Gudwin 1999b] explora uma linha de raciocínio que se destaca frente a um emaranhado de idéias e conceitos sendo desenvolvidos entre pesquisadores da área. Gudwin propõe uma maneira pragmática de efetivar a transição entre a semiótica tradicional e a semiótica computacional, permitindo a síntese de sistemas semióticos por meio de dispositivos computacionais.

Existem duas formas de se estudar o processo semiótico: a análise e a síntese. Na análise, o principal objetivo é entender o processamento semiótico que está ocorrendo na natureza, onde os intérpretes (seres semióticos) apresentam-se já prontos, sendo mais fácil criar conceitos e aplicá-los a coisas que já estão funcionando. Entretanto, para uma síntese semiótica, é necessário que criemos as condições para que o processo de semiose se realize. Para que isso seja possível, é necessário se conhecer com maiores detalhes o comportamento que estes intérpretes deverão ter, sem menosprezar detalhes que muitas vezes poderiam passar despercebidos na análise. Desta forma, o problema de síntese semiótica é bem mais desafiador que o da análise semiótica.

Assim, na Semiótica Computacional adota-se uma postura de síntese para o entendimento do processo semiótico. Essa postura nos permite estudar detalhadamente seus elementos, verificando sua coerência exatamente quando se tenta sintetizar o processo de semiose. Uma vez que o processo de semiose esteja descrito de uma maneira adequada, será possível uma implementação computacional adequada deste processo.

Os principais passos a serem adotados para que uma proposta de síntese semiótica se concretize são os seguintes [Gudwin 1999b]:

- definição de um cenário básico para a discussão de síntese semiótica (seção 3.3)
- compreensão de como ocorre o processo semiótico dentro de um intérprete natural (seção 3.3)
- criação de uma versão computacional de processos semióticos (seção 3.8)

A terminologia utilizada para dar explicação a este processo está relacionada com a terminologia da semiótica peirceana (signo, objeto, intepretante, intérprete, etc. – Anexo A).

A seguir, serão analisados cada uns dos fundamentos básicos que dão suporte à síntese semiótica [Gudwin 1996, Gudwin 1999b].

3.3.- *Intérprete e Espaço de Representação*

A descrição deste framework começa com dois conceitos fundamentais: intérprete e espaço de representação, Figura 3.1.

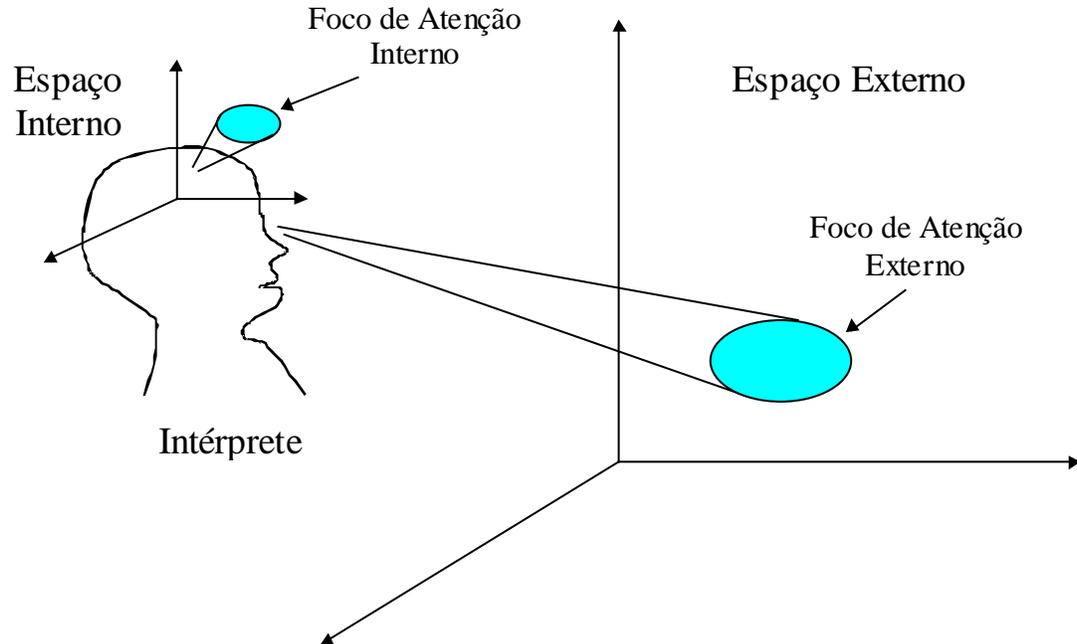


Figura 3.1. Espaço de representação.

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. A arena onde se dá o processo de semiose corresponde ao espaço de representação. Na Figura 3.1 podemos observar o espaço de representação, que na realidade se subdivide em dois espaços, 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.

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. A idéia básica por trás do 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 3.2, os espaços podem ser compartilhados ou não compartilhados. 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.

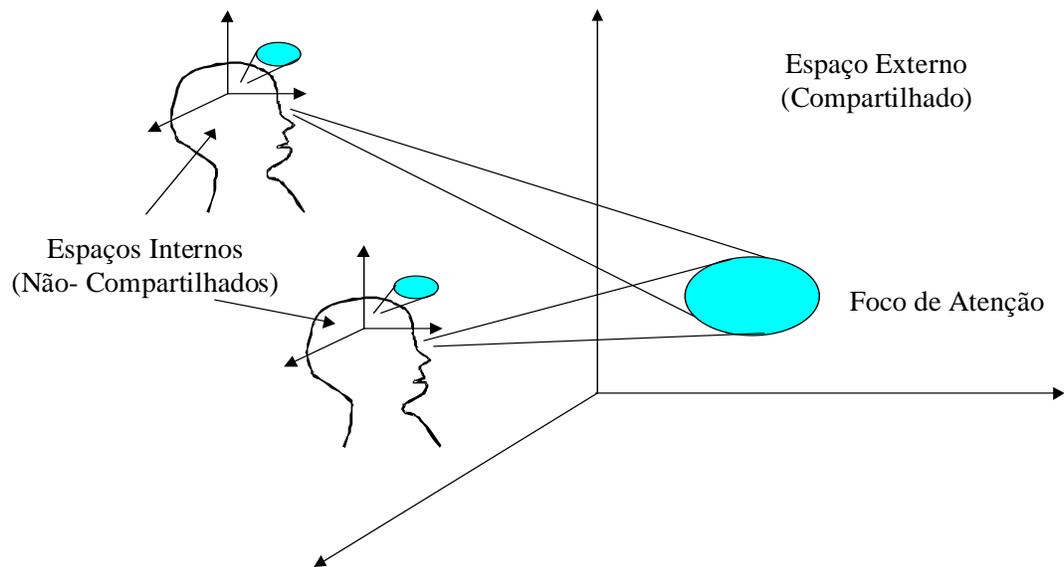


Figura 3.2. Espaços compartilhados e não-compartilhados.

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 interpretação. Um campo de interpretação pode ser definido [Gudwin 1999b] 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 interpretação (Figura 3.3).

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.

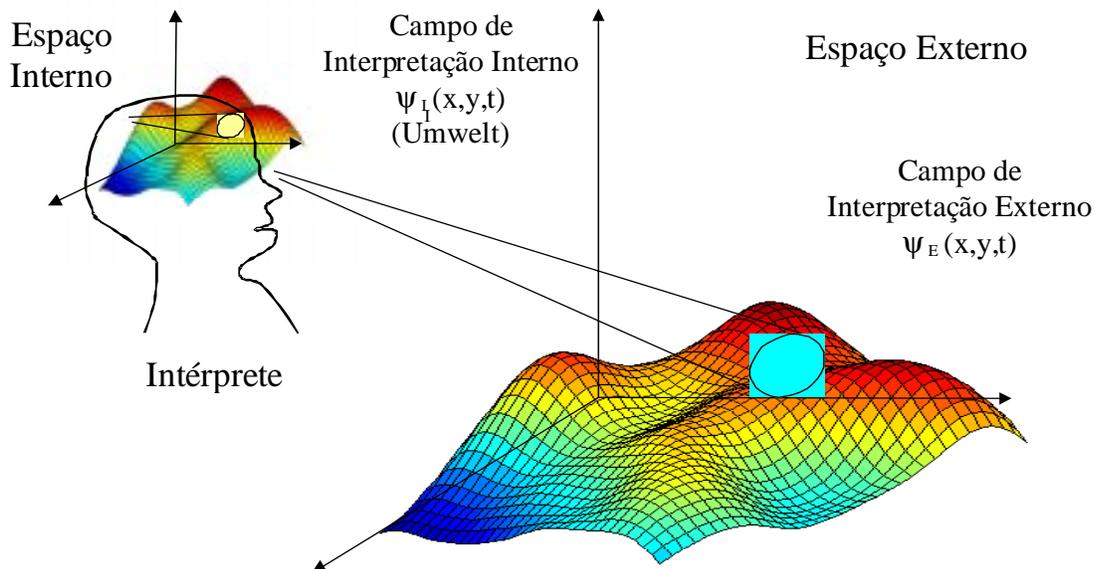


Figura 3.3. Exemplos de campos de interpretação para uma função, $\psi(x,y,t)$.

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 pode ser ilustrado na Figura 3.4.

Um dos espaços internos pode conter em seu campo de interpretação nosso melhor modelo do campo de interpretação externo. Este, normalmente é chamado então de espaço concreto, Figura 3.4), contendo uma imagem de nosso Umwelt [Gudwin 1999a], 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.

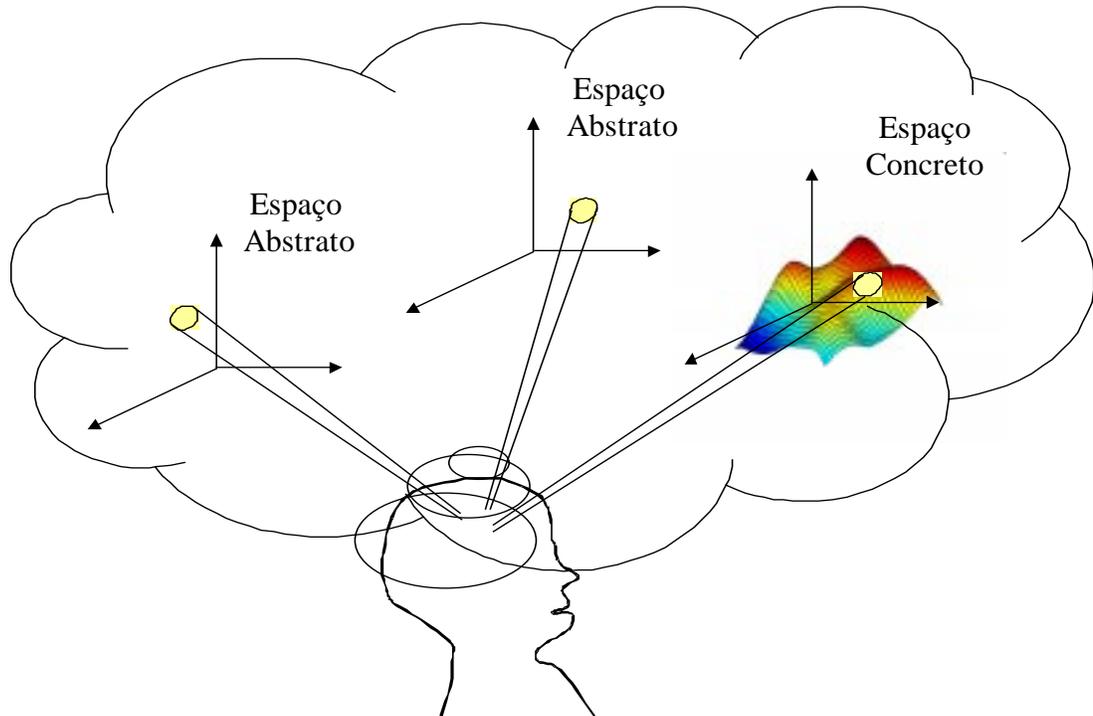


Figura 3.4. Espaços internos múltiplos e campos de interpretação.

Uma vez de posse dos conceitos apresentados até agora, podemos desenvolver conclusões importantes. Por exemplo, o campo de interpretação externo é infinito, contínuo e provavelmente assume valores em um conjunto contínuo. Este só é conhecido por meio de sensores, mas não na 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.

3.4.- 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 interpretação interno ou externo para o tempo $t+\Delta t$, causado pela ação disparada no intérprete devido ao efeito do signo.

A partir das definições de signo 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.

3.5.- *Sinais, Informação, Signos e Conhecimento*

Na seção anterior, utilizamos de maneira informal o conceito de *sinial* para definir os conceitos de campo de interpretação, 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 **sinial** é a idéia de que é possível distinguirmos o estado em que se encontra o campo de interpretação 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 proto-signos.

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 ψ_E representa o campo de interpretação externo, seus valores são correspondentes aos estados do mundo real. Como o mundo real é, em princípio, contínuo, o campo de interpretação pode assumir valores

contínuos de 0 até 5. Supondo agora que nesse campo de interpretação 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 interpretação interno somente possa assumir valores discretos e inteiros. Com isso, o campo de interpretação 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 assuma 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 causarem 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 interpretação 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.

Assim, um novo termo que podemos associar à idéia de signo, seria o de **unidade de conhecimento**. Em princípio, um signo e uma unidade de conhecimento querem dizer exatamente a mesma coisa. Esse termo, entretanto, em algumas situações, pode ser mais conveniente de ser utilizado, principalmente porque está mais condizente com a terminologia tradicional da inteligência artificial. Em nosso caso, utilizaremos os termos signo e unidade de conhecimento de maneira intercambiável. Podemos dizer então que o comportamento básico de um intérprete é selecionar unidades de conhecimento tanto no espaço externo como no espaço interno, assim como gerar novas unidades de conhecimentos nos espaços externo e interno. Como um interpretante pode ter a mesma natureza de um signo (ou seja, pode também corresponder a um conjunto de sinais), o termo unidade de conhecimento pode também ser utilizado para designar os interpretantes. Podemos então compreender o processo de semiose como um processo de que transforma unidades de conhecimento em novas unidades de conhecimento.

O tipo de unidades de conhecimentos mais elementar que pode ser armazenado em um campo de interpretação interno é o do tipo sensorial. Como vimos, essa unidade de conhecimento é gerada originalmente por sensores, que podem ser entendidos como dispositivos semióticos que fazem a transdução de sinais entre os espaços externo e interno. De uma maneira mais enfática, podemos dizer que os sensores são a **única** ponte de comunicação entre os espaços internos e externos. Assim, qualquer modelo mais elaborado que possamos ter do campo de interpretação externo (ou seja, do ambiente) será **sempre** originado a partir da informação conduzida por meio dos sensores.

Para que um determinado intérprete possa planejar ações sobre o ambiente, então, é necessário que um modelo do campo de interpretação externo seja construído no espaço de representação interno. Esse modelo normalmente é armazenado em um espaço de representação interno chamado de espaço concreto, e é nosso melhor modelo do campo de interpretação externo. O grande problema em se gerar esse campo de interpretação interno é que o campo de interpretação externo é contínuo e infinito. Simplesmente armazenar informação sensorial obtida do mundo externo não é a maneira mais eficiente de modelar esse campo de interpretação externo. Decorre daí que os intérpretes necessitam determinar

melhores condições de construir esse modelo. Para essa finalidade, tipos de unidades de conhecimento mais sofisticados deverão ser utilizados.

O primeiro tipo de sofisticação a ser utilizado é a criação de unidades de conhecimento capazes de representar a noção de **entidades**. Entidades, na realidade, são uma possível compactação da informação sensorial obtida do ambiente, de tal forma que não seja necessário armazenar um conjunto imenso de informações sensoriais, pois se presume que essas informações sensoriais originam-se exatamente destas entidades que possuem um conjunto de atributos, características ou propriedades, e são estes atributos ou propriedades os responsáveis pelos valores mensurados pelos sensores. Observe que a idéia de entidade na verdade corresponde a uma boa hipótese que o intérprete faz, e que é normalmente corroborada pelos dados sensoriais que se pode obter. Entretanto não podemos nunca perder de vista que apesar de serem hipóteses que se encaixam bem com nossa percepção, a visão do mundo como uma realidade objetiva, como queriam Locke e outros filósofos, não necessariamente deve ser verdadeira. Para o ponto de vista da semiótica computacional, a existência ou não de uma realidade objetiva é indiferente. O que importa é a possibilidade dessa realidade, seja ela qual for, permitir que se crie um modelo do mundo como sendo um mundo povoado por objetos. Essa representação do mundo, sendo perfeita ou imperfeita, é muito conveniente para efeito de armazenagem de conhecimento sobre o mundo. O mecanismo básico, que envolve a criação de unidades de conhecimento do tipo entidade, acontece por meio de processos semióticos que a partir de unidades de conhecimento sensoriais geram unidades de conhecimento do tipo entidade. Armazenando toda a informação sensorial encontrada através do foco de atenção externo, o intérprete cria unidades de conhecimento de alto nível, que registram a presença de entidades no mundo externo. Assim, no modelo proposto pela semiótica computacional, entidades externas não são necessariamente coisas que existem no mundo real, mas são criações de um intérprete de forma a tornar mais eficiente a modelagem do meio ambiente.

Como dissemos, as entidades podem ter atributos internos e esses atributos podem variar com o tempo. A partir de unidades de conhecimentos sensoriais o sistema deve tentar representar o mesmo campo de interpretação externo como uma coleção de entidades.

Na seção 3.6 apresentaremos, além das entidades, diversos tipos de unidades de conhecimentos introduzidos por Gudwin [Gudwin 1996].

3.6.- Unificação da Semiótica Computacional

Apesar de se basear em conceitos oriundos da semiótica clássica, a semiótica computacional 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 a que a semiótica computacional se propõe. Alguns estudiosos da semiótica peirceana, poderiam dizer que as construções da semiótica computacional 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 semiótica computacional, 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 semiótica computacional são os conceitos de sinais, signos e conhecimento, conforme pode ser ilustrado na Figura 3.5.

Como pode ser observado, os sinais constituem o substrato para os signos e estes contituem o substrato para a formação dos conhecimentos. Em termos gerais, esta cadeia é a idéia que unifica a Semiótica Computacional. 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.

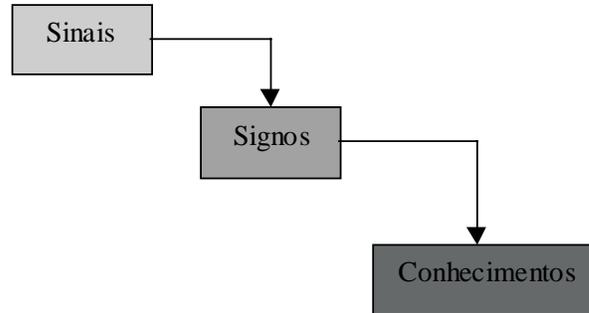


Figura 3.5. Cadeia dos elementos fundamentais da semiótica computacional.

3.7.- Unidades de Conhecimentos

A classificação das unidades de conhecimentos foi proposta por Gudwin em 1996 e parte da idéia de que a natureza dos fenômenos que ocorrem no mundo não é a mesma. Assim, os diferentes tipos de informações são representados por diferentes estruturas matemáticas, chamados de **Unidades de Conhecimentos**. Nesta seção, serão analisados os diferentes tipos de conhecimentos.

Na acepção original, a classificação do conhecimento é inspirada na forma de uma classificação de diferentes tipos de signos. Segundo o modelo da Semiótica de Peirce, existem três tipos de tricotomias importantes dos signos [Anexo A]. Uma diz respeito ao signo em relação a si mesmo. Outra se refere ao interpretante e a última ao objeto. A classificação dos diferentes tipos de conhecimento, foi inspirada talvez mais nos interpretantes que nos signos por si próprios [Gudwin 1996, Gudwin & Gomide 1997c, Gudwin 1999b]. Não podemos portanto dizer que esta classificação constitui um análogo direto à classificação dos tipos de signos por Peirce, mas talvez a uma aproximação dessa idéia. Na Figura 3.6, observa-se à classificação dos tipos elementares de conhecimentos, conforme proposta por Gudwin.

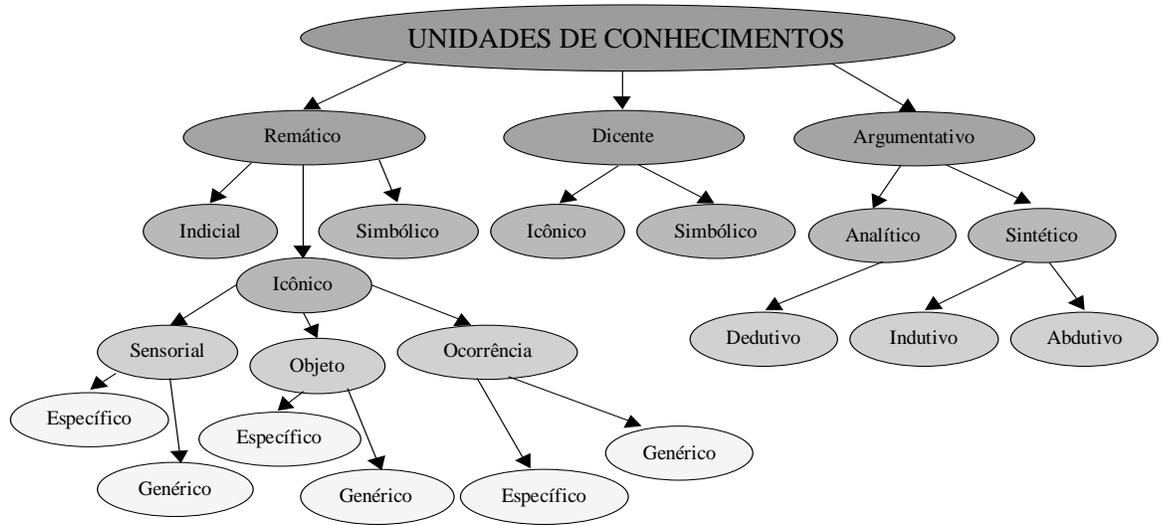


Figura 3.6. Classificação das unidades de conhecimentos.

Nas seguintes seções apresentamos um sumário para cada um dos diferentes tipos de conhecimentos relatados em [Gudwin 1996].

3.7.1.- Conhecimento Remático

O Conhecimento Remático está inspirado nos signos do tipo **rema**, pertencentes à terceira tricotomia dos signos [Anexo A]. Este tipo de conhecimento é gerado pela interpretação de remas, ou termos. Os termos são utilizados para referenciar fenômenos do ambiente, tais como: experiências sensoriais, objetos e ocorrências [Gudwin 1996], constituindo estes conhecimentos blocos básicos da modelagem dos fenômenos do mundo. Gudwin utiliza como exemplo para um conhecimento remático, a idéia de que um conhecimento remático é aquele conhecimento que pode ser atribuído ao significado de palavras isoladas de uma língua. Assim, poderíamos entender conhecimentos remáticos como sendo a semântica que pode ser atribuída aos diversos adjetivos, substantivos e verbos de uma determinada língua.

Gudwin divide os conhecimentos Remáticos em três sub-categorias, apresentadas a seguir.

3.7.1.1.- Conhecimento Remático Simbólico

Segundo Gudwin, esse conhecimento é utilizado para referenciar indiretamente um fenômeno do ambiente de forma absoluta [Gudwin 1996]. Na verdade, toda vez que utilizamos um nome para designar algum fenômeno do mundo, estamos utilizando um conhecimento remático simbólico. Assim, caso nossa unidade de conhecimento contenha dentre seus sinais uma informação que possa ser associada ao nome de algum fenômeno do mundo, trata-se de um conhecimento remático simbólico. Na verdade, nesta definição caberiam todas as palavras de uma língua, quando utilizadas para referenciar os fenômenos do mundo a que estão associadas.

3.7.1.2.- Conhecimento Remático Indicial

De novo, segundo Gudwin, um conhecimento remático indicial é utilizado para referenciar indiretamente um fenômeno do ambiente de forma relativa, a partir de outro fenômeno previamente identificado [Gudwin 1996]. Na verdade, um conhecimento remático indicial corresponde ao conhecimento referente aos termos que atuam como índices, Anexo A. Assim, poderíamos entender como exemplos deste tipo de conhecimento o significado de palavras como “este”, “esse”, “aquele”, ou mesmo o significado que se pode atribuir a setas, flechas, apontadores de um modo geral, além de outros tipos de índices.

3.7.1.3.- Conhecimento Remático Icônico

Dentre os tipos de conhecimentos remáticos, talvez o mais importante do ponto de vista da síntese semiótica é o conhecimento remático icônico. Gudwin refere-se a ele como o conhecimento que corresponde a um modelo direto dos fenômenos que representa [Gudwin 1996]. Assim, é por meio de conhecimentos remáticos icônicos que efetivamente um intérprete modela o mundo que o cerca. Qualquer modelo direto do mundo, ou seja, que guarde algum tipo de analogia ou semelhança com o fenômeno do mundo a que se propõe a representar pode ser dito um conhecimento remático icônico. Os conhecimentos remáticos icônicos são então aqueles utilizados para armazenar o modelo semântico de cada termo

possível ou imaginável. Assim, todo conhecimento remático simbólico ou indicial sempre estará apontando para um conhecimento remático icônico, sem o que não pode ter significado algum. Os conhecimentos remáticos icônicos se subdividem segundo Gudwin ainda em conhecimento sensorial, de objetos e de ocorrências. Essas três sub-categorias são, segundo Gudwin, associadas à semântica dos adjetivos, dos substantivos e dos verbos respectivamente. Ainda segundo Gudwin, essa sub-classificação não é completa, pois existem outros tipos de categorias semânticas que são utilizadas nas línguas faladas e que não são contempladas por esta classificação. Exemplos destas seriam os advérbios, os artigos, os adjuntos, os complementos, além de outros. Gudwin propõe, entretanto, que a modelagem de adjetivos, substantivos e verbos já seria suficiente para a criação de uma linguagem primitiva que pudesse ser utilizada por dispositivos semióticos artificiais.

3.7.1.3.1.- Conhecimento Sensorial

Um conhecimento sensorial é aquele que está associado a uma qualidade, um atributo ou propriedade que pode ser mensurável por um sensor ou enviada a um atuador. Normalmente ocorre quando um signo no espaço externo gera um interpretante no espaço interno, embora possa ser também fruto de um processamento puramente no espaço interno. Um conhecimento sensorial pode ser específico ou genérico. Um conhecimento sensorial específico é a identificação de um padrão sensorial referente a uma instância particular e temporal. Um conhecimento sensorial genérico ocorre quando se deseja referenciar todo um grupo de conhecimentos sensoriais, com características semelhantes, mas não se identifica uma instância particular temporal. Um conhecimento sensorial não se restringe a sensores individuais, mas pode ser estendido a padrões multi-sensoriais e multi-temporais [Gudwin 1996].

3.7.1.3.2.- Conhecimento de Objeto

Um conhecimento de objeto ou de entidade ocorre quando, a partir de um conjunto de conhecimentos sensoriais, supõe-se que estes conhecimentos sensoriais sejam causados pela existência de um objeto ou entidade do mundo exterior. Neste caso, o sistema passa a

modelar um objeto cujas características estejam de acordo com os conhecimentos sensoriais obtidos. Este conhecimento pode ser também do tipo específico ou genérico. Um conhecimento de objeto específico refere-se a um objeto em particular, o qual implica na existência de um modelo para o objeto, com uma estrutura adequada para representar seus atributos em diferentes instantes, existindo durante certo tempo e eventualmente tendo sido destruído em outro instante. O conhecimento de objeto genérico corresponde a um conhecimento prototípico do objeto, ou seja, diz respeito a toda uma classe de objetos que compartilhem características comuns [Gudwin 1996]. Gudwin associa o conhecimento de objetos ao conhecimento que pode ser atribuído a um substantivo em uma língua natural.

3.7.1.3.3.- *Conhecimento de Ocorrência*

Objetos e sensações não existem de maneira estática no mundo. Normalmente tanto objetos e sensações são fenômenos dinâmicos que modificam-se no tempo. Essa modificação por si constitui um tipo particular de fenômeno, que é o fenômeno das mudanças em outros fenômenos. Nas línguas naturais, esse tipo de fenômeno é representado por meio de verbos. Verbos descrevem a modificação ou permanência de algum atributo dos objetos existentes.

Para modelar esse tipo de fenômeno, Gudwin propõe o chamado conhecimento remático icônico de ocorrências. Podemos então entender um conhecimento de ocorrência como um conhecimento que descreve:

- o conhecimento do estado específico de valores dos atributos dos objetos do mundo,
- a mudança desses valores em função do tempo,
- a geração ou destruição desses objetos.

Este conhecimento pode ser do tipo específico ou genérico. Um conhecimento de ocorrência específico corresponde a uma ocorrência relacionada a um objeto ou a um conjunto de objetos, em uma instância temporal particular na existência desse(s) objeto(s). O conhecimento de ocorrência genérico é semelhante ao anterior, com a exceção de que a instância temporal é genérica, ou seja, não necessita ser definida. O que caracteriza a ocorrência como genérica ou específica não são os objetos aos quais está relacionada, mas à definição de uma instância temporal particular (ou não) onde a ocorrência se concretizou [Gudwin 1996].

3.7.2.- *Conhecimento Dicente*

Se o conhecimento remático pode ser associado ao significado de palavras isoladas, veremos que o conhecimento dicente pode ser associado ao significado de frases em uma língua natural.

O Conhecimento Dicente está inspirado no signo **dicissigno** ou **dicente**, conforme Peirce, pertencente à terceira tricotomia dos signos [Anexo A]. Este tipo de conhecimento é caracterizado por um valor-verdade associado a um termo. Um termo ou uma seqüência de termos é utilizado para representar uma expressão, que codifica uma proposição. O que caracteriza um termo ou seqüência de termos como sendo uma proposição, é o fato de existir um valor-verdade associado a ele. O valor-verdade é uma medida de crença, que o Sistema Cognitivo usa para determinar se uma proposição é verdadeira ou falsa, sendo representado por um valor entre 0 e 1. O valor 1 significa que o sistema acredita que a proposição é verdadeira e o valor 0 significa que a proposição é falsa. Na lógica clássica, assume-se que o valor-verdade de uma proposição somente pode assumir os valores 0 e 1, correspondendo aos valores “falso” e “verdadeiro”. Em lógicas multivalores, tais como a lógica *fuzzy*, o valor-verdade pode assumir valores intermediários entre 0 e 1. Esses valores correspondem a crenças maiores ou menores na veracidade ou falsidade da proposição. Por exemplo, um valor de 0.5 representa que o sistema não tem a menor idéia se uma proposição é verdadeira ou falsa. Uma outra maneira de representar uma crença seria utilizar valores de -1 a 1, onde -1 corresponderia à falsidade, 0 à dúvida total e 1 à veracidade [Gudwin 1996].

3.7.3.- *Conhecimento Argumentativo*

Se quiséssemos utilizar somente conhecimentos remáticos e dicentes, poderíamos somente descrever situações do mundo, mas nunca efetuar raciocínios com eles. O processo de raciocinar é, em si, um tipo particular de conhecimento. Para que um sistema inteligente possa processar conhecimentos, ele irá demandar então que esse conhecimento seja devidamente representado e utilizado. O processo de raciocínio é descrito por meio do chamado conhecimento argumentativo. Podemos entender então o conhecimento argumentativo como sendo o conhecimento sobre como processar conhecimentos.

O Conhecimento Argumentativo está inspirado no signo **argumento**, pertencente à terceira tricotomia dos signos [Anexo A]. Peirce faz uma distinção especial entre uma inferência e um argumento. Uma inferência seria um processo geral de raciocínio, que pode ser instanciado em casos individuais na forma de um argumento. Um argumento seria então um caso específico de uma inferência. É óbvio que, a partir do estudo dos diferentes tipos de argumentos, podemos abstrair os diferentes tipos de inferências, e por conseguinte os diferentes tipos de raciocínio. O que chamamos aqui de Conhecimento Argumentativo está talvez mais próximo do conhecimento do processo de inferência ou processo de raciocínio, propriamente dito, do que da idéia original de argumento. Adota-se, contudo o nome de conhecimento argumentativo, para que se mantenha a coerência com o modelo Peirceano que tomamos como inspiração.

Podemos dizer que um conhecimento argumentativo corresponde a um agente de transformação de conhecimentos. Um conhecimento argumentativo transforma um conjunto de conhecimentos, chamado de premissa (ou premissas), em um novo conhecimento, chamado de sua conclusão. A transformação é realizada por meio de uma função de transformação chamada de função argumentativa, que caracteriza o tipo de argumento [Gudwin 1996].

Na Figura 3.7, podemos observar uma classificação de diferentes tipos de conhecimentos argumentativos dada por [Gudwin 1996]:

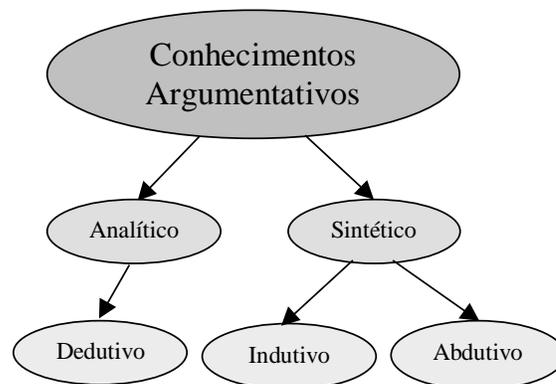


Figura 3.7. Classificação dos argumentos.

3.8.- Criando um Modelo Computável

Nas seções anteriores, apresentamos um conjunto de definições que constituem a base da Semiótica Computacional [Gudwin 1999b]. Entretanto, somente estas definições não constituem ainda um modelo computável. De forma a tornar este modelo computável, foram necessárias algumas simplificações para que o modelo pudesse ser adaptado ao ambiente computacional. Estas simplificações são apresentadas a seguir.

Basicamente, o problema que surge está vinculado ao problema da continuidade nos espaços de representação, nos campos de interpretação e no foco de atenção. Se de início essa presunção de continuidade é interessante, pois permite uma coerência com a continuidade que observamos aparentemente no mundo real, quando vamos para o mundo computacional esta continuidade entra em conflito direto com o dispositivo que se encontra à nossa disposição para a implementação da síntese semiótica: o computador. O computador é uma máquina eminentemente discreta. A consideração de espaços de representação, campos de interpretação e focos de atenção contínuos está além das possibilidades computacionais. A proposta de Gudwin para simplificar o modelo proposto então até aqui é a idéia de substituir o conceito de espaço interno pela idéia de **lugar** e substituir os campos de interpretação internos pela identificação explícita das unidades de conhecimento em termos de objetos habitando a memória do computador. Com isso, o mecanismo de foco de atenção pode ser transformado em uma busca de **objetos** (no sentido computacional desta palavra) dentre os lugares disponíveis. É óbvio que o espaço externo não pode ser alterado, pois se trata do próprio mundo real, e permanece sendo contínuo. Entretanto, o foco de atenção externo passa a ser implementado por meio de sensores e atuadores móveis, que podem ser posicionados em coordenadas específicas do espaço externo, de onde se colhem medidas ou onde se processa a atuação. Por meio desta simplificação, unidades de conhecimentos internas podem ser substituídas por objetos de software e colocados dentro de lugares, onde podem ficar disponíveis para os intérpretes.

O intérprete, por sua vez, é decomposto em múltiplos micro-intérpretes. Esses micro-intérpretes podem ser vistos como intérpretes primitivos, que têm a tarefa de processar unidades de conhecimentos armazenadas nos lugares. Falando computacionalmente, micro-

intérpretes podem ser implementados por objetos ativos [Gudwin & Gomide 1998a] (também chamados de agentes) que podem também ser distribuídos em lugares.

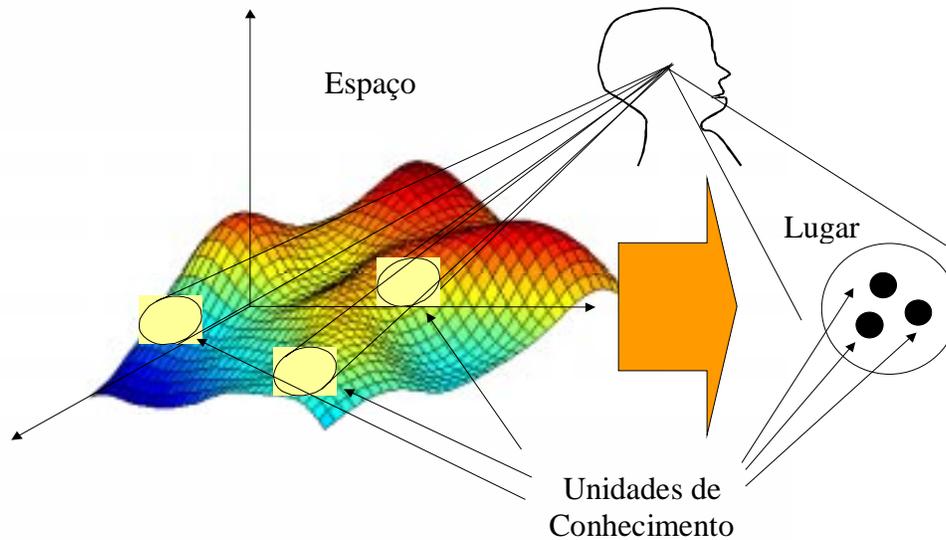


Figura 3.8. Simplificação do modelo.

O intérprete, visto como o sistema inteligente em seu aspecto macroscópico, pode ser convertido então em uma grande Rede de Objetos [Gudwin 1996, Gudwin & Gomide 1997d, Gudwin & Gomide 1998a, Gudwin & Gomide 1998b, Gudwin & Gomide 1999] ou Rede de Agentes [Guerrero 2000]. O processo de simplificação do modelo pode ser observado na Figura 3.8.

O trabalho do micro-intérprete pode ser ilustrado na Figura 3.9. Este micro-intérprete pode realizar três tarefas possíveis. A primeira é escolher as unidades de conhecimentos a serem processadas. Para este propósito, o micro-intérprete usa uma função de seleção, que determina quais unidades de conhecimento serão utilizadas no processamento. Em seguida, para efetuar o processamento, utiliza-se uma função de transformação, que efetivamente transforma as unidades de conhecimento selecionadas originando novas unidades de conhecimento, que são armazenadas em outros lugares da rede. Na definição original de Redes de Objetos [Gudwin 1996], o processo de como implementar a função de seleção é deixado em aberto. Apesar de tratar-se de uma estratégia flexível, essa indefinição dificultava a implementação computacional das redes de objetos. Guerrero [Guerrero

2000] introduz as Redes de Agentes, que são Redes de Objetos especiais, adaptadas para a criação de uma ferramenta computacional para o projeto, teste e simulação de redes de objetos. Posteriormente, Gomes introduz em [Gomes 2000] as redes de agentes modulares, como uma versão hierárquica de redes de objetos.

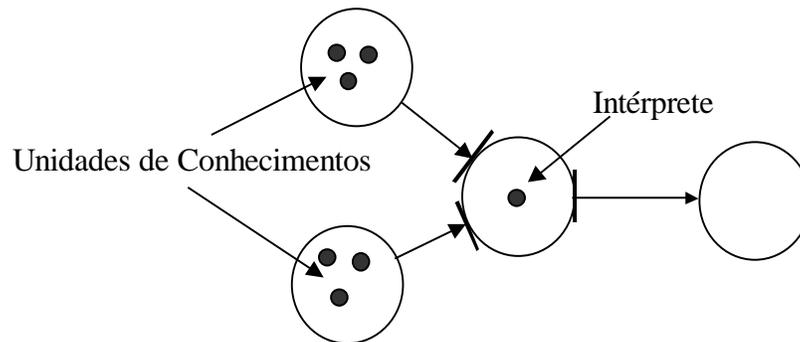


Figura 3.9. Micro-intérprete.

As redes de agentes caracterizam-se pelo fato de implementarem a função de seleção utilizando um conceito mais simples que é o de função de *matching*. Uma função de *matching* simplesmente avalia a qualidade de cada unidade de conhecimento útil para ser processado, e deixa que o sistema gere automaticamente a função de seleção, baseada em um algoritmo de busca. Assim, os micro-intérpretes podem ser definidos basicamente pela função de *matching* e pela função de transformação que executam. Esses micro-intérpretes serão então os agentes de uma rede de agentes. Além de processar o conhecimento armazenado nas unidades de conhecimento, eles podem também destruir as unidades de conhecimento utilizadas e eventualmente criar novas unidades de conhecimento.

Criando uma grande Rede de Objetos (ou uma Rede de Agentes), podemos implementar um sistema inteligente, que é modelado como um grande conjunto de micro-intérpretes processando unidades de conhecimento, de maneira síncrona e em paralelo. Essa rede de agentes pode ser desenvolvida, testada e simulada por meio do software ONtoolkit [Guerrero et. al. 1999], que foi implementado em linguagem Java e é detalhado em Guerrero [Guerrero et. al. 1999, Guerrero 2000]. No Capítulo 5 deste trabalho, será desenvolvido um exemplo de aplicação utilizando estas idéias.

3.9.- *Resumo*

Neste capítulo foram apresentadas as idéias gerais da Semiótica Computacional propostas por Gudwin [Gudwin 1996, Gudwin & Gomide 1997a, Gudwin & Gomide 1997b, Gudwin & Gomide 1997c, Gudwin 1999b], que têm por objetivo a criação de sistemas inteligentes capazes de exibir características de síntese semiótica.

Mostrou-se como o desenvolvimento da Semiótica Computacional foi inspirado nos conceitos clássicos da semiótica peirceana, embora algumas adaptações tenham sido necessárias para que sua implementação computacional fosse viabilizada.

Apresentou-se, os fundamentos básicos por trás da síntese semiótica, ou seja, os conceitos de signo, objeto e interpretante, e a associação entre sinais, informação e conhecimento.

Posteriormente, apresentou-se a classificação dos diferentes tipos de conhecimentos proposta por Gudwin [Gudwin 1996] e finalmente concluiu-se por meio de uma reflexão em como transformar todo esse modelo em uma proposta computacional que pudesse ser implementada em computadores digitais.

Capítulo 4. Análise do Conhecimento Sensorial

4.1.- Introdução

No capítulo anterior, vimos os diferentes tipos de conhecimentos que um sistema inteligente pode representar durante sua operação. Não necessariamente todos os tipos de conhecimento irão aparecer em um sistema inteligente e nem isso é necessário para que o sistema possa desenvolver um comportamento inteligente. Entretanto, dentre os tipos de conhecimento apresentados, aquele que de certa forma sempre acaba aparecendo em um sistema inteligente é o conhecimento remático sensorial, também chamado simplesmente de conhecimento sensorial. Como para que um sistema se integre ao meio ambiente são necessárias entradas e saídas, o tipo natural de entrada de informações em um sistema inteligente é o conhecimento advindo de sensores e atuadores, dispositivos responsáveis pelas entradas e saídas do sistema. Tanto o conhecimento obtido pelos sensores como o conhecimento que é enviado aos atuadores podem ser classificados de conhecimentos sensoriais, devido à sua constituição. O objetivo deste capítulo é, portanto, dar continuidade ao trabalho de Gudwin [Gudwin 1996], efetuando um estudo mais aprofundado deste tipo particular de conhecimento que é tão importante para a constituição e desenvolvimento dos sistemas inteligentes. Para tanto, iniciaremos fazendo uma análise semiótica dos sensores, tentando capturar a essência do processamento semiótico que nele ocorre. Esse estudo preliminar nos trará subsídios para que possamos desenvolver em seguida uma classificação dos tipos de sensores, segundo o tipo de processamento semiótico que apresentam.

Já dissemos anteriormente que os sensores são a porta de entrada da percepção, constituindo o ponto inicial pelo qual todos os outros conhecimentos são gerados e desenvolvidos. Desta maneira, somente a partir do estudo mais aprofundado desta categoria de conhecimentos poderemos compreender melhor suas diferentes nuances e detalhes, de modo a construir tipos mais sofisticados de conhecimentos, tais como os conhecimentos de objetos ou os conhecimentos de ocorrência. Estamos portanto conscientes das limitações

deste tipo de conhecimento, mas queremos explorá-lo, de modo a aproveitar com máxima eficiência o tipo de informações que podem armazenar, ao mesmo tempo que nos conscientizamos do tipo de informações que poderemos dispor para a geração de novos tipos de conhecimento. De um modo geral, outros trabalhos na área dos Sistemas Inteligentes [Albus 1991, Meystel 1996, Gudwin 1996] não se preocupam em fazer esse aprofundamento, tratando o conhecimento sensorial de maneira somente superficial. Pretendemos, com a presente análise, contribuir para a melhor compreensão e aprofundamento deste tipo de conhecimento.

Outra consequência deste estudo será a obtenção das guías para o desenho de dispositivos inteligentes, auxiliando na escolha dos tipos de sensores a serem empregados, de tal forma que possamos fazer uma análise de custo/benefício entre as diversas alternativas que apresentam. Por exemplo, em alguns casos utilizam-se hoje diversos sensores para realizar medições diferentes sem considerar-se que existem alternativas que levam à realização da mesma quantidade de medições em um único dispositivo.

4.2.- Definição de sensor

Nesta seção introduzimos uma nova definição de “Sensor”, a qual estaremos considerando no desenvolvimento deste trabalho. Antes de introduzirmos a nossa definição, é importante mencionar que podemos encontrar diversas definições de sensores na literatura. Algumas delas definem sensores no sentido genérico, isto é, caracterizando vários tipos de sensores. Outras, só são aplicáveis a classes limitadas de sensores, por exemplo, considerando tecnologia ou custo. Dentre as principais definições de sensores encontradas na literatura, talvez as que apresentem maior generalidade sejam as seguintes [Göpel et.al. 1989]:

Sensores são considerados dispositivos que convertem uma variável física ou química em um sinal apropriado para a medição.

Define-se um transdutor (sensor) como um dispositivo capaz de disponibilizar uma saída utilizável em resposta a algo que se pode medir. Em termos do mundo contínuo ou

digital, uma saída utilizável corresponde a um conjunto de sinais elétricos que prestam-se ao processamento de sinais (definição ANSI - Instrument Society of América).

Nossa definição de sensor coloca-se, de certa forma, dentro desta visão generalista, aproveitando alguns conceitos destas definições, porém fazendo uma distinção mais explícita entre grandeza física e grandeza lógica:

Definição 4.1 – Sensor: Define-se um sensor como um dispositivo de medição, capaz de transformar grandezas físicas, referentes a fenômenos ocorrendo em determinada região do espaço-tempo, em grandezas lógicas. Assim, a informação contida na grandeza lógica corresponde a uma representação de um conhecimento sensorial.

4.3.- O Sensor sob o ponto de vista da Semiótica Peirceana

Para compreendermos completamente o que é um sensor, entretanto, é importante que se faça uma análise do comportamento de um sensor segundo o ponto de vista da semiótica peirceana [Anexo A]. Para tal tarefa, introduzimos o esquema da Figura 4.1, composto por três elementos fundamentais: o mundo (ambiente), o sensor e o intérprete.

Na figura, podemos observar o papel do sensor como elemento transdutor entre o mundo e o intérprete. Por meio dele, os fenômenos que ocorrem no mundo podem ser devidamente capturados e representados de uma forma acessível ao intérprete. Nesta perspectiva, o sensor apresenta um papel dual, que é o de pertencer tanto ao mundo como ao intérprete. Pelo lado do mundo, o sensor é um dispositivo que faz parte do meio-ambiente, e portanto tem uma existência natural, como todos os outros objetos do mundo. Pelo lado do intérprete, a parte do sensor que traduz a grandeza sendo medida em termos lógicos é o ponto de partida para o processo de semiose [Anexo A] que ocorre dentro do intérprete.

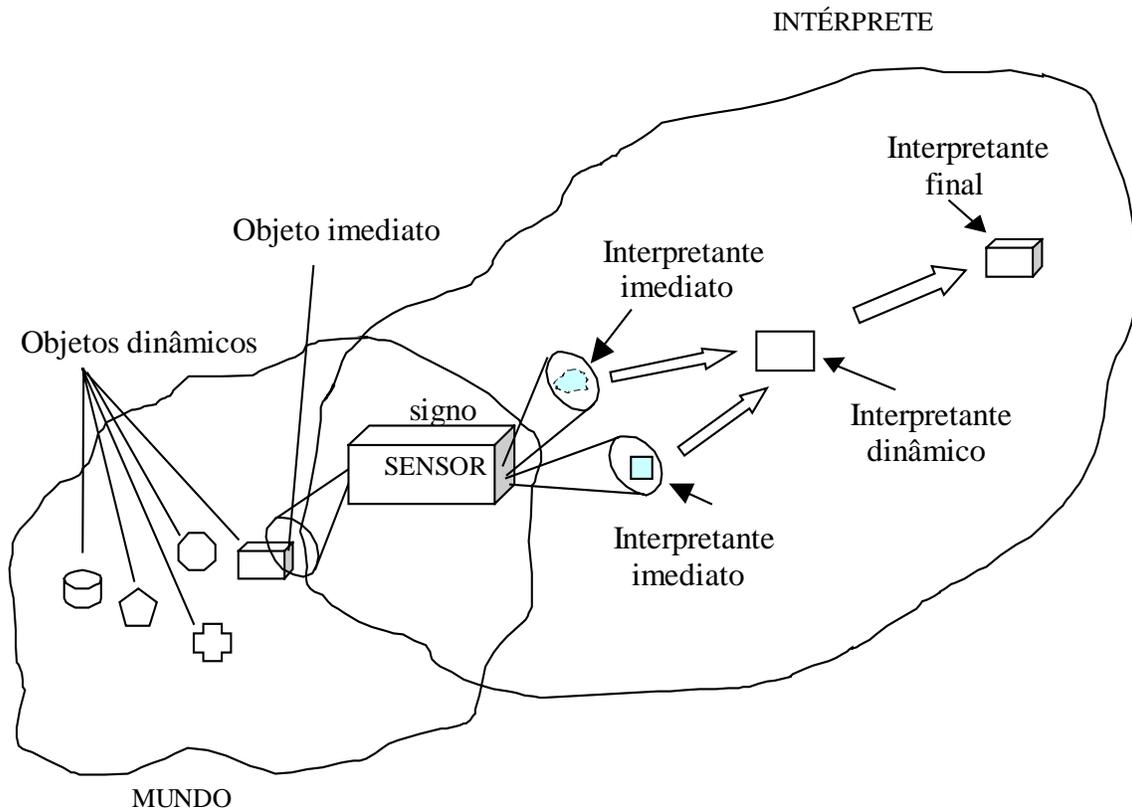


Figura 4.1. Representação do sensor sob o ponto de vista da semiótica peirceana.

Sua existência física pode então ser abstraída e podemos analisar os fenômenos ocorrendo dentro do intérprete somente a partir do ponto de vista lógico, desconsiderando como esses fenômenos se realizam no plano físico (uma vez que o próprio intérprete também tem uma existência física). Sob esse ponto de vista, o sensor pode ser então considerado como um signo, uma vez que, no instante em que uma determinada medida é feita, este representa um fenômeno do mundo (alterando propriedades de sua própria estrutura), em um formato cognoscível pelo intérprete. Observe, entretanto, que o sensor, como signo, é um signo efêmero, pois somente significa no momento exato em que uma medida é coletada. Em um instante de tempo subsequente, o sensor terá suas propriedades modificadas para representar um novo estado de coisas – um novo fenômeno que está ocorrendo no mundo real, e portanto já é um novo signo. Vamos fazer então uma análise semiótica desse comportamento, para melhor entendermos o que ocorre.

Para modelar o mundo, Peirce utiliza (C.P. 4.536, C.P. 8.183, C.P. 8.314, C.P. 8.343)¹ dois conceitos importantes e inter-relacionados, o conceito de objeto dinâmico e objeto imediato. O objeto dinâmico é uma entidade ontológica que encontra sua existência na realidade de uma forma concreta. Esse objeto dinâmico nunca pode ser compreendido em sua totalidade, pois isso exigiria conhecê-lo por todos os ângulos possíveis e imagináveis. Podemos entretanto, ter acesso ao objeto imediato, ou seja, aquela faceta, aquela parte do objeto que é representada por um signo. Assim, quando dizemos que, em um determinado instante, um sensor é um signo de um fenômeno do mundo, ele não é capaz de representar esse fenômeno em toda sua complexidade, mas tão somente a parte do fenômeno que pode ser capturada pelo sensor. Em termos semióticos, o sensor não é capaz de representar diretamente o objeto dinâmico, ou seja, uma entidade ontológica da realidade, mas tão somente uma propriedade desta, propriedade esta que é terminologicamente associada ao conceito de objeto imediato [Santaella 1995]. Em outras palavras, não somos capazes de sensorear diretamente as coisas do mundo – elementos ou entidades materiais, mas tão somente propriedades mensuráveis destas mesmas coisas. Desta maneira, a informação introduzida pelo sensor corresponde somente a uma informação parcial, uma visão projetada da realidade, que o sensor tem a capacidade de capturar. Entretanto, para poder consolidar seu papel de signo, deve haver um efeito provocado pelo sensor sobre o intérprete. Esse efeito corresponde pois ao que se chama de interpretante do signo. Em nosso caso, o efeito imediato do signo é introduzir dentro do espaço de atuação do intérprete uma informação que corresponde à parcela do fenômeno que foi capturada pelo sensor, ou seja, seu objeto imediato. Portanto, o nome dado a este primeiro interpretante que adentra o intérprete é o de interpretante imediato, segundo a terminologia semiótica.

Uma das características desse primeiro interpretante é a de corresponder a um conjunto de impressões ainda não analisadas, ou seja, a informação que adentra o intérprete a partir do signo corresponde a uma informação “bruta”, que independe de qualquer outra análise ou comparação que possamos fazer dessa mesma informação em processos posteriores. Nesse sentido se diz que o interpretante imediato corresponde a uma instância da categoria

¹ Referência aos trabalhos de Peirce, primeiro número representa o capítulo e o segundo o parágrafo referenciado.

da primeiridade [Anexo A], pois é “aquilo que é como é, sem nenhuma referência a nenhum outro” (C.P. 2.85).

Em um passo posterior do processo de semiose, o interpretante imediato é comparado com outros interpretantes imediatos advindos de interpretações anteriores, chamadas de “experiências colaterais”. O resultado dessa comparação é a geração de um novo interpretante, fruto da integração temporal de diversos outros interpretantes imediatos, chamado de interpretante dinâmico [Santaella 1995]. Esse nome - dinâmico - resulta do caráter dinâmico deste interpretante, que a cada nova interpretação é alterado de modo a incorporar o último interpretante imediato interpretado.

Entretanto, apesar de consistir em uma representação mais fiel do objeto dinâmico, pois integra múltiplas facetas oriundas de distintos objetos imediatos relacionados com um mesmo objeto dinâmico, seriam necessárias infinitas experiências colaterais de modo a fazer com que o interpretante dinâmico fosse uma representação exata do objeto dinâmico. Por uma questão de completude, Peirce define o chamado “interpretante final” [Santaella 1995], que seria o limite do interpretante dinâmico, considerando-se um número infinito de experiências colaterais.

O interpretante final corresponde somente a uma concepção ideal, pois considerando-se um processo semiótico ocorrendo em um intérprete real, ele nunca é atingido. Nesse sentido, o interpretante final corresponde a um limite na interpretação total do signo, o limite ideal, mas nunca atingível, pois caso já estivéssemos na presença do interpretante final, este deixaria de ser um interpretante e, na verdade, estaríamos diante do próprio objeto dinâmico.

Outra análise que podemos fazer do sensor como um signo classifica-o, na semiótica peirceana, como um signo indicial, ou seja, um signo que é realmente afetado pelo seu objeto. Quanto ao relacionamento de um signo com seu objeto, ou seja, o entendimento de por que um determinado signo está “autorizado” ou capacitado para representar um determinado objeto, Peirce divide os signos entre ícones, índices e símbolos (C.P. 2.247, 2.248, 2.249). Um ícone é um signo que refere-se ao seu objeto somente em virtude de compartilhar com ele um mesmo conjunto de características comuns. Este compartilhamento “credencia” o ícone a representar seu objeto pois permite ao intérprete que, em reconhecendo no signo as características compartilhadas, identifica-as como sendo

as do próprio objeto representado. Um índice ou signo indicial é um signo que refere-se ao seu objeto em virtude de estar sendo, de alguma forma, afetado por este objeto, em um processo natural ocorrendo no ambiente. Essa conexão natural entre objeto e signo acaba por credenciar o signo a representar o objeto, na medida em que, sendo o signo afetado por seu objeto, essa relação entre signo e objeto pode ser utilizada pelo intérprete para interpretar o signo. Se no ícone era necessário que o intérprete tivesse ciência das características comuns que unem o signo ao objeto, no caso dos índices, é necessário que o intérprete tenha o conhecimento da relação natural entre signo e objeto, sem o qual ele não poderia interpretá-lo como índice. Por fim, um símbolo é um signo que se refere ao seu objeto somente em função de uma lei ou convenção (que pode ser do próprio intérprete) que determina que um determinado objeto e seu signo estejam acoplados mutuamente. Essa lei corresponde a uma conexão arbitrária (ao contrário do caso do índice, onde a conexão ocorre na natureza) entre signo e objeto, o que faz com que os símbolos sejam os tipos de signos mais flexíveis, pois, em princípio, qualquer signo pode representar qualquer objeto, o que não é verdadeiro para o caso dos ícones e índices. Um ícone só pode representar um objeto com o qual partilhe propriedades comuns. Um índice só pode representar um objeto pelo qual seja afetado de alguma maneira em algum processo natural. Os símbolos estão livres para representar quaisquer objetos.

Voltando ao caso do sensor, fica evidente a classificação deste como sendo um índice, pois observa-se que a tensão ou corrente do sensor serão diretamente afetadas pela grandeza que o sensor está medindo. Isto não quer dizer que este signo seja puramente indicial, porque apesar de ser afetado diretamente pelo fenômeno que se propõe a medir, existe um compartilhamento de propriedades comuns entre um sensor e a grandeza sendo medida. Ou seja, a intensidade da corrente ou tensão do sensor poderá ser diretamente proporcional à intensidade da grandeza sendo medida. Assim, restam ainda alguns traços de iconicidade no sensor enquanto signo, o que torna uma classificação definitiva um pouco difícil. De uma maneira geral, um signo sempre apresentará traços de iconicidade, indicialidade e simbolicidade, sendo que a denominação como ícone, índice ou símbolo se dará em relação à predominância dentre estes traços de modo a caracterizar o modo de representação de um determinado signo.

Vemos, portanto, que a análise de um sensor do ponto de vista da semiótica peirceana traz subsídios importantes à compreensão do fenômeno sensorial. Entretanto, essa análise não esgota a riqueza de diversidade que temos com o fenômeno sensorial. Para que possamos obter uma melhor compreensão deste fenômeno, é necessário realizar uma análise mais detalhada dos diferentes tipos de sensores, assim como do tipo de informação que cada um deles proporciona. Essa análise é apresentada a seguir.

4.4.- Taxonomia de sensores

Depois de observar, na seção 4.3, a importância do sensor como elemento transdutor das características (qualidades) dos fenômenos que ocorrem no mundo, nesta seção apresentamos os diferentes tipos de sensores que podem aparecer no espaço de medição.

A Figura 4.2, mostra uma possível taxonomia de sensores que os classifica de acordo com três níveis fundamentais, caracterizando o comportamento do sensor segundo a sua posição, dimensão e sinal. No nível que chamamos de nível da posição, tentamos organizar os sensores de acordo com o grau de liberdade que estes possuem em relação à sua posição ou localização no mundo real. O critério básico de classificação aqui é, portanto, a mobilidade que o sensor pode ter. Sendo assim, encontramos os sensores ditos fixos e os sensores móveis. No nível que chamamos de nível da dimensão, classificamos os sensores em relação a possíveis dependências (normalmente topológicas) envolvendo diferentes dimensões de medida capturadas pelo sensor. Nessa classificação aparecem os chamados sensores unidimensionais, que efetuam uma medida com uma única dimensão independente e os sensores multidimensionais, que são capazes de, em uma única medida, capturar diferentes dimensões de medida que possuem um acoplamento (ou dependência entre si), normalmente de caráter topológico (um exemplo típico é o sensor de uma câmera de vídeo). No nível que chamamos de nível dos sinais, classificamos os sensores de acordo com o tipo de sinais utilizados na mensuração. Neste nível, observamos diversos tipos diferentes de sinais, tais como o contínuo no tempo e contínuo na amplitude da grandeza medida, contínuo no tempo e discreto na amplitude da grandeza medida, discreto no tempo e contínuo na amplitude da grandeza medida, discreto no tempo e discreto na amplitude da grandeza medida, híbrido no tempo e híbrido na amplitude da grandeza medida.

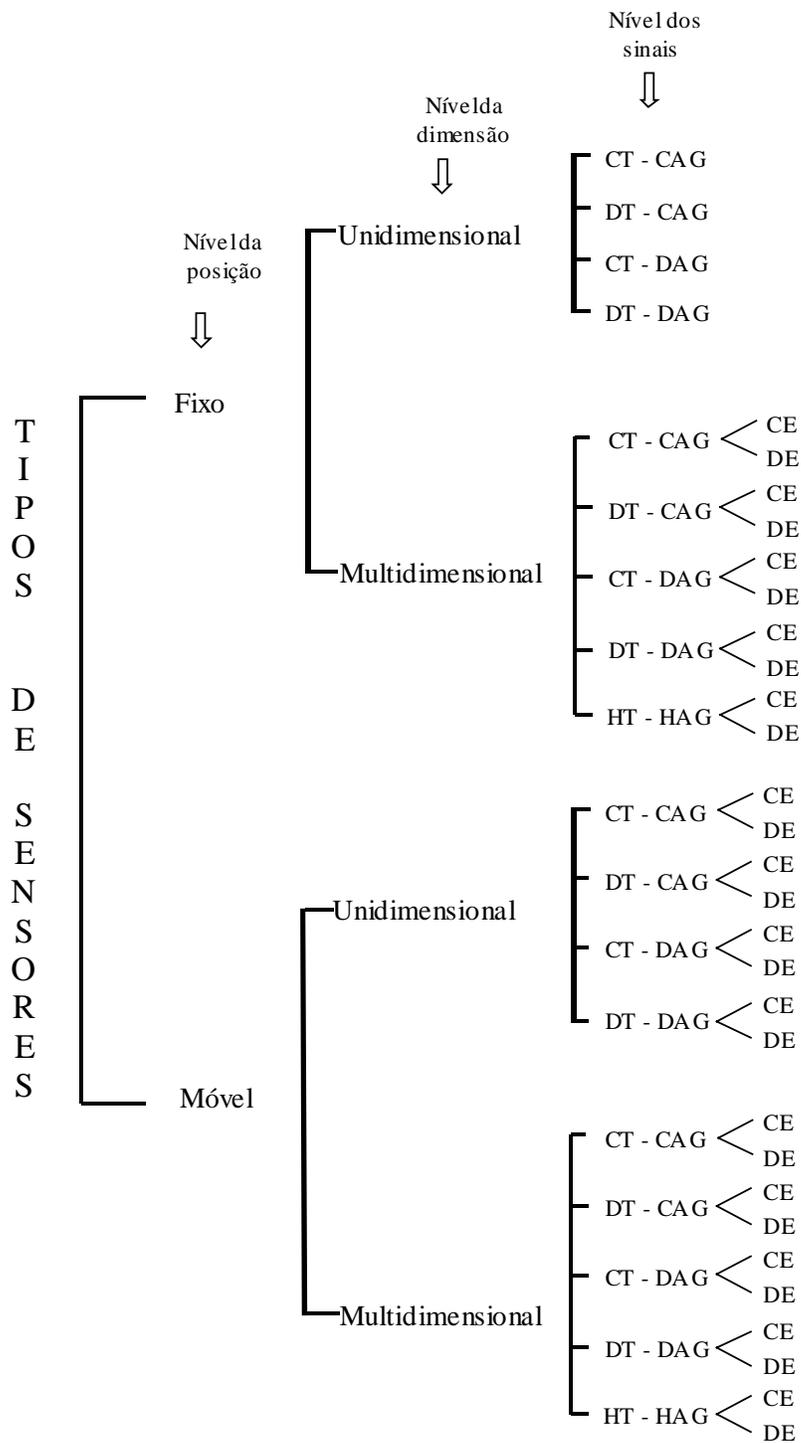


Figura 4.2. Taxonomia de sensores.

Legenda	
CT – CAG	Contínuo no tempo – Contínuo na amplitude da grandeza medida.
DT – CAG	Discreto no tempo – Contínuo na amplitude da grandeza medida.
DT – DAG	Discreto no tempo – Discreto na amplitude da grandeza medida.
CT – DAG	Contínuo no tempo - Discreto na amplitude da grandeza medida.
HT	Híbrido no tempo.
HAG	Híbrido na amplitude da grandeza medida.
CE	Contínuo no espaço.
DE	Discreto no espaço.

Tabela 4.1. Legenda para tipos de sensores.

Como pode ser observado na Figura 4.2, esta taxonomia apresenta uma classificação bem detalhada de sensores. Esta compreende os mais diversos tipos de sensores e sugere outros que ainda não aparecem definidos na literatura, mas factíveis de serem analisados e construídos. Estes últimos, apesar de não serem instanciados por nenhuma tecnologia conhecida, constituem uma possibilidade lógica real, sendo aqui colocados com o objetivo de fomentar a construção de novos tipos de sensores, que eventualmente possam vir a ter alguma utilidade prática no futuro.

Nas seções seguintes detalhamos cada um dos níveis da taxonomia, exemplificando alguns deles com dispositivos encontrados dentro das tecnologias atuais.

4.4.1.- Sensores Segundo sua Posição

Como dissemos anteriormente, o nível da posição classifica o sensor em virtude do grau de liberdade do sensor em efetuar medições em alguma região do espaço de medição. Esse grau de liberdade se caracteriza pela capacidade ou incapacidade do sensor em se movimentar no espaço de medição. Sensores incapazes de se movimentar somente podem trazer informações de uma mesma região do espaço de medição, trazendo informações sobre os fenômenos que ocorrem nessa região do espaço em diferentes instantes de tempo. Sensores móveis podem modificar a região do espaço de medição de onde coletam informações, trazendo grande flexibilidade ao sistema que vai utilizar estas informações.

O nível de posição engloba, portanto, dois tipos fundamentais de sensores, os sensores fixos e os sensores móveis, que podem ser formalizados da seguinte maneira:

Definição 4.2 –*Sensor Fixo*: dispositivo de medição que determina de maneira fixa a região do espaço em que opera.

Definição 4.3 –*Sensor Móvel*: dispositivo de medição que opera em diferentes regiões do espaço.

A definição de sensor móvel não inclui aqueles sensores que, para realizar sua medição, precisam da movimentação das suas partes, sem entretanto alterar a região do espaço em que os fenômenos mensurados acontecem, por exemplo, o giroscópio (mais conhecido como horizonte de avião). Estes dispositivos apresentam mobilidade de suas partes, sem entretanto podermos considerá-los móveis no sentido da definição 4.3. Caso estes sensores sejam utilizados em plataformas móveis (tais como aviões, satélites, carros, etc.), a união do sensor com a plataforma pode ser considerada então como sendo um sensor móvel, sendo que essa mobilidade refere-se à capacidade de movimentação da plataforma e não referente ao movimento interno que caracteriza a sua tecnologia de medição.

A escolha por sensores fixos ou móveis se dará em função de diferentes critérios, envolvendo flexibilidade, custo e disponibilidade. Sem dúvida, os sensores fixos têm um custo mais reduzido, embora tenham como limitação uma restrição em sua área de atuação. Por exemplo, um sensor móvel poderia substituir diversos sensores fixos. Essa flexibilidade tem um custo, que seria não somente o custo do dispositivo sensor móvel, mas também todo o custo de desenvolvimento de algoritmos de controle para que esses sensores móveis possam cobrir todas as regiões necessárias para a aquisição de informação, de uma maneira eficiente. Em alguns casos, entretanto, pode ser que somente os sensores móveis sejam capazes de resolver um determinado problema, e esses custos deverão ser assumidos. De uma maneira geral, o estudo do impacto na utilização de sensores móveis, seus algoritmos de controle e sistemas envolvendo sensores móveis, cria toda uma área de pesquisa a ser desenvolvida.

4.4.2.- Sensores Segundo sua Dimensão

Normalmente, quando examinamos a informação advinda de um sensor, imaginamos que a cada sensor corresponde uma grandeza diferente sendo medida. Entretanto, podem existir casos em que estamos interessados em fazer medições que cobrem regiões contínuas ou conexas do espaço, onde um determinado conjunto de informações pode estar acoplado de maneira direta. Em outras palavras, uma determinada medição não é totalmente independente de outras medições. Alguns tipos de sensores podem se aproveitar desta demanda por informações para fornecer múltiplas medidas com um único dispositivo de medição. Exemplos de sensores deste tipo compreendem, por exemplo: câmeras de vídeo, que agregam milhares de informações de cor e intensidade luminosa para posições vizinhas do espaço-tempo. Outro possível exemplo de sensores desse tipo seriam sensores que medem diferentes grandezas simultaneamente, tais como sensores que por meio de um único dispositivo fornecem informações de posição e velocidade, pressão e temperatura, ou outros ainda.

De modo a classificar os sensores, com relação a essa capacidade de dependência ou independência entre grandezas sendo medidas, dividimos os sensores em dois tipos básicos: os sensores mono-dimensionais e os sensores multidimensionais, organizando-os dentro do nível que chamamos de nível da dimensão. Este nível determina a estruturação da informação, em termos dimensionais, ou seja, o número de dimensões diferentes que podem ser operadas de maneira independente a partir de um determinado tipo de sensor.

Definição 4.4 –Sensor Unidimensional: dispositivo de medição que proporciona a informação de uma única grandeza.

Definição 4.5 –Sensor Multidimensional: dispositivo de medição que proporciona informações de diferentes grandezas ao mesmo tempo, sendo que: o arranjo físico entre as múltiplas dimensões do sensor representam implícitamente(iconicamente) uma relação que existe entre as grandezas sendo medidas.

Em princípio, poderíamos tentar definir um sensor multidimensional como sendo simplesmente um agrupamento de sensores mono-dimensionais, e de fato essa seria uma

maneira muito simples de se compreender um sensor multidimensional. Entretanto, essa visão criaria a ilusão de que as medidas sendo coletadas possuem uma total independência umas das outras, o que não é real para as grandezas que gostaríamos de medir com esses sensores. As informações de cor e intensidade luminosa de um determinado pixel de uma câmera de vídeo têm uma grande dependência e acoplamento a seus pixels vizinhos. Essa dependência é diretamente utilizada posteriormente pelos algoritmos que irão tratar a informação sensorial obtida pelos sensores, que assumirão essa dependência em função da posição relativa do pixel na câmera. Sendo assim, uma imagem provida por uma câmera de vídeo tem uma característica de dependência local entre os diferentes pixels, que faz com que a informação sensorial que provê seja fundamentalmente diferente de simplesmente um conjunto de sensores mono-dimensionais agrupados. Da mesma maneira, quando se utiliza um sensor que mede posição e velocidade simultaneamente, existe um grande acoplamento entre essas grandezas, o que é considerado também pelos algoritmos que irão tratar a informação sensorial. De um modo geral, entretanto, o critério que se utiliza para determinar se um sensor é mono ou multidimensional é a obtenção, por um mesmo dispositivo de medidas de diferentes grandezas.

4.4.3.- Sensores Segundo seu Sinal

Semioticamente falando, quando se diz que um sensor traduz um objeto imediato em um interpretante imediato, o que ele está fazendo na verdade é uma transformação de sinais. Transforma-se um conjunto de sinais que ocorrem no mundo real, compreendendo o fenômeno que estamos a medir (objeto imediato), e que estão fora do escopo de compreensão do intérprete, em sinais que estejam dentro do escopo de compreensão do intérprete, normalmente sinais elétricos, que corresponderão portanto ao interpretante imediato gerado pelo sensor. Essa transformação de sinais pode se dar de diferentes modos, conforme se leve em conta a discretização ou não do sinal gerado, no tempo e no espaço. Essa terceira classificação dos sensores envolve, portanto, os diferentes tipos de sinais que podem ser gerados por um sensor, em função de sua discretização ou não no tempo e no espaço. Segundo essa classificação, um sensor pode ser de um dos seguintes tipos:

CT-CAG – Contínuo no tempo e contínuo na amplitude da grandeza medida

CT-DAG – Contínuo no tempo e discreto na amplitude da grandeza medida

DT-CAG – Discreto no tempo e contínuo na amplitude da grandeza medida

DT-DAG – Discreto no tempo e discreto na amplitude da grandeza medida

HT-HAG – Híbrido no tempo e/ou híbrido na amplitude da grandeza medida

As quatro primeiras classificações tiveram como inspiração os quatro tipos de combinações de sinais observados em [Jayant & Noll 1984]. Na Figura 4.3, apresentamos uma representação das formas destes tipos de sinais.

Em sensores cujos sinais são discretos na amplitude da grandeza medida existe sempre uma perda de informação, devido ao fenômeno da quantização que aparece quando discretiza-se a amplitude do sinal. Esse fenômeno ocorre porque quando a informação é truncada aproxima-se o valor real da variável a um dos níveis discretos disponíveis para capturar a medida. Da mesma forma, quando a discretização ocorre no tempo, perde-se a informação que porventura ocorra nos instantes entre uma medida e a seguinte. Diferentes estratégias podem ser adotadas nesse caso. A medida pode corresponder a uma média da amplitude entre o instante da última amostra e o instante atual, ou pode simplesmente capturar a amplitude real no instante sendo medido. Desta classificação, podemos depreender que existem sensores cujo sinal proporciona mais informação que outros. Entretanto, devemos considerar a utilidade dessa informação e o custo para processá-la em etapas posteriores. Em um grande número de processos conhecidos, os sensores discretos, apesar da perda de informação que implicitamente propiciam, acabam tornando-se os mais adequados, pois as perdas envolvidas são controladas e a informação fornecida é suficiente para os desenvolvimentos posteriores que se deseja dar à informação coletada. A grande questão tecnológica colocada nestes casos é a questão dos intervalos de discretização e os níveis de discretização utilizados nos sensores.

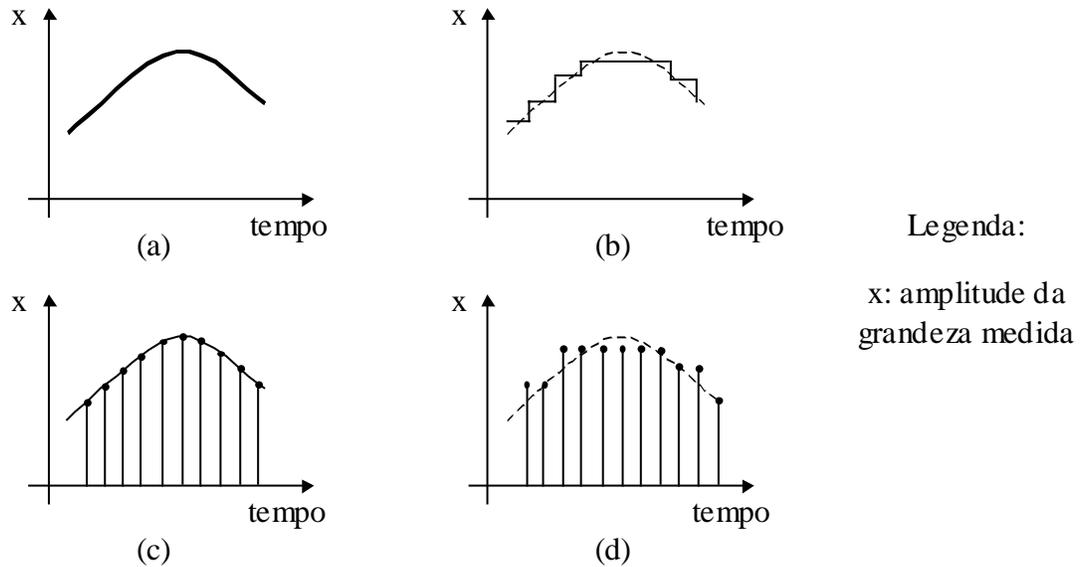


Figura 4.3. Tipos de combinações de sinais: CT – CAG (a), CT – DAG (b), DT - CAG (c), DT – DAG (d).

A quinta classificação levantada, só terá sentido para o caso de sensores multidimensionais. Nesse tipo de sensores, podemos analisar individualmente os sinais oriundos de cada dimensão em separado. Normalmente, devido ao tipo de acoplamento que existe entre as dimensões mensuradas, estes sinais serão todos de um mesmo tipo. Entretanto, existe uma possibilidade lógica de termos sensores multidimensionais em que as diferentes dimensões apresentem diferentes estratégias para a discretização ou não de seus sinais. Nesse caso, poderíamos ter que uma das dimensões é CT-CAG e outra DT-CAG, ou qualquer combinação possível entre as 4 classificações de sinais anteriores. Essa diversidade de possíveis combinações criaria um grande conjunto de tipos de sensores, que apesar de serem possibilidades lógicas, não encontram implementação tecnológica real ou talvez nem mesmo um uso específico. De maneira a simplificar a classificação, e ao mesmo tempo incluir esse conjunto de sensores que compreendem uma possibilidade lógica, optamos por segregar os sensores híbridos em duas categorias básicas, ou seja, os sensores cujo sinal é híbrido no tempo (HT) e/ou na amplitude da grandeza medida (HAG). Essas categorias são então incorporadas em nossa taxonomia de sensores, de modo a constatar sua possibilidade lógica e ao mesmo tempo sugerir novas formas para a análise e construção de sensores que poderão advir no futuro. Neste trabalho, entretanto, simplesmente

aquiesceremos à sua existência, colocando as idéias fundamentais para um futuro desenvolvimento dos mesmos, mas sem nos aprofundarmos mais em seus detalhes. Definimos portanto, de maneira geral, um sinal híbrido genérico:

Definição 4.6 – Sinal Híbrido: define-se como um tipo de sinal multidimensional cujos componentes dimensionais são, simultaneamente, contínuos e discretos, seja no tempo ou na amplitude dos sinais.

Assim como a multidimensionalidade de um sensor permite a possibilidade lógica dos sensores híbridos, considerar a região do espaço onde ocorre o sensoriamento impõe o aparecimento de outra variável que deve ser considerada, sob o ponto de vista da discretização ou não do sinal. Ou seja, além do tempo e da amplitude da grandeza sendo medida, é possível cogitarmos a respeito da a discretização ou não do espaço onde fazemos a medição.

Na próxima seção, apresentaremos diversos exemplos dos diferentes tipos de sensores catalogados na taxonomia da Figura 4.2.

4.4.4.- Exemplos de Tipos de sensores

Da taxonomia de sensores, apresentada na Figura 4.2, podemos derivar diferentes tipos de sensores, exemplificados a seguir:

Sensor fixo, unidimensional, CT-CAG: Este dispositivo possui seu espaço de operação determinado de forma fixa. Com ele, podemos obter a informação de uma variável (grandeza mensurável) de forma contínua tanto na amplitude como no tempo. Ou seja, a cada instante de tempo, o sensor traduz a amplitude de uma grandeza correspondendo a um fenômeno ocorrendo em uma posição fixa do espaço, capturando-a na forma de uma informação. Este tipo de sensor corresponde ao tipo mais simples de sensor, encontrado em diferentes tipos de processos. Exemplos incluem: termômetros, barômetros, manômetros, entre outros. Por exemplo, em um termômetro [Benedict 1984], Figura 4.4, a coluna de mercúrio está continuamente subindo ou descendo seu nível, de acordo com a temperatura da região do espaço onde o termômetro se encontra localizado. O comprimento da coluna de mercúrio corresponde diretamente à temperatura sendo medida, de forma contínua no tempo e no espaço. É interessante ressaltar ainda que esse sensor não

possui nenhum sinal elétrico (ou seja, não necessariamente um sensor deve possuir sinais elétricos, embora estes sejam muito comuns). Poderíamos ter um termômetro muito semelhante a este, que ao invés de representar a temperatura em termos do comprimento da coluna de mercúrio, o fizesse em função do nível de tensão entre um par de terminais (termopar) [Benedict 1984]. Observe que, em termos de nossa classificação, ambos os tipos de termômetros seriam classificados dentro desta mesma classe, pois semioticamente o tipo de informação que veiculam é exatamente o mesmo.

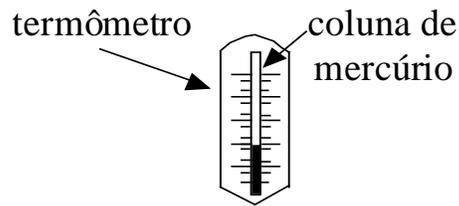


Figura 4.4. Sensor de temperatura - termômetro.

Sensor fixo, unidimensional, DT-CAG: Este tipo de sensor é muito semelhante ao apresentado anteriormente. Diferencia-se deste somente pelo fato de que a medida é capturada em instantes discretos no tempo, e não continuamente como no caso anterior. Como exemplo, tomemos o termômetro ilustrado no item anterior e imaginemos que ele faça sua leitura somente em instantes determinados de tempo, preservando a leitura anterior até o momento de uma nova leitura. Nesse caso, obteríamos um sensor da categoria representada neste item. Observe-se, portanto, que um sensor desta categoria tem como característica a existência de um espaço de medição determinado de forma fixa, obtendo a informação da variável medida em forma discreta no tempo e contínuo na amplitude da grandeza medida.

Sensor fixo, unidimensional, CT-DAG: Nesse tipo de sensor, ao contrário do anterior, a discretização ocorre na amplitude da variável, e não no tempo. Observe que ele ainda opera de maneira fixa no seu espaço, ou seja, ele somente é capaz de mensurar fenômenos ocorrendo em uma região delimitada do espaço. Através dele podemos obter a informação de uma variável de maneira contínua no tempo, através de valores discretizados na amplitude da grandeza medida. Devido a esta discretização, existe uma perda de

informação implícita durante a discretização da amplitude da grandeza medida. Diversos sensores deste tipo podem ser encontrados na literatura, codificador óptico de tipo incremental e absoluto [Bastos 1998a], sensores de proximidade: contato, óptico ou fibra óptica [Bastos 1998b].

Os codificadores ópticos, por exemplo (ou “encoders” incrementais) são utilizados fundamentalmente para o cálculo de posições angulares. Basicamente, constam de um disco transparente, que apresenta uma série de marcas opacas colocadas radialmente e equidistantes entre si de um elemento emissor de luz (como um diodo LED) e de um elemento foto-sensível que atua como receptor. O eixo, cuja posição angular deseja-se medir, está acoplado ao disco, Figura 4.5. O funcionamento do dispositivo é basicamente o seguinte. Quando o sistema começa a funcionar, o emissor de luz emite um feixe de luz que atravessa o disco e incide posteriormente no elemento foto-sensível do outro lado. À medida que o eixo gira, os elementos opacos sobre o disco produzem uma série de pulsos de luz no receptor, correspondentes à luz que atravessa os buracos entre as marcas. Contando-se esses pulsos é possível conhecer a posição do eixo com uma faixa de erro proporcional ao tamanho das marcas. Na verdade, os *encoders* incrementais medem não a posição mas a velocidade de giro, da onde pode-se obter a posição angular. A resolução de qualquer sensor deste tipo depende diretamente do número de marcas que podemos colocar fisicamente no disco.

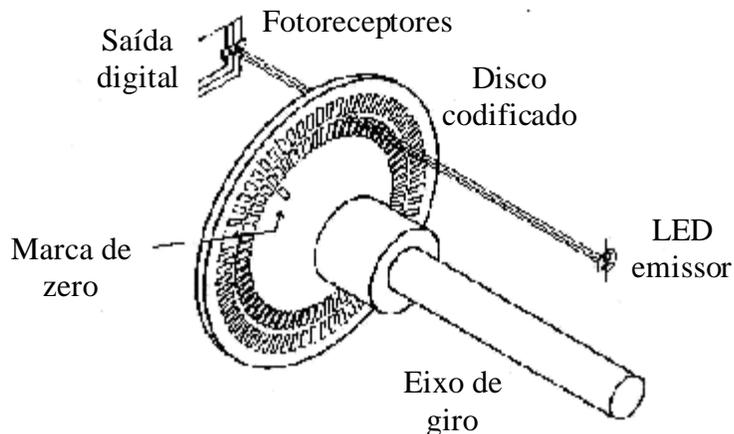


Figura 4.5. Codificador óptico incremental.

Um outro tipo de codificador óptico existente é o chamado codificador óptico absoluto. Sua função é similar à do codificador óptico incremental, sendo utilizado para medir a posição angular. Neste caso, o que se mede não é o incremento da posição angular, como no caso do codificador incremental, mas diretamente essa posição. A disposição é parecida à dos *encoders* incrementais. Utiliza-se, da mesma maneira que nos *encoders* incrementais, uma fonte de luz, um disco graduado e um fotoreceptor. A diferença está em que as marcas são rotuladas e nomeadas por meio de uma graduação ou codificação do disco. Assim, o disco divide-se em um número fixo de setores (potência de 2) que são codificados por um código cíclico (normalmente um código de *Gray*), sendo que este código é marcado em cada setor do disco por meio de zonas transparentes e opacas dispostas radialmente no setor, como se pode apreciar na Figura 4.6.

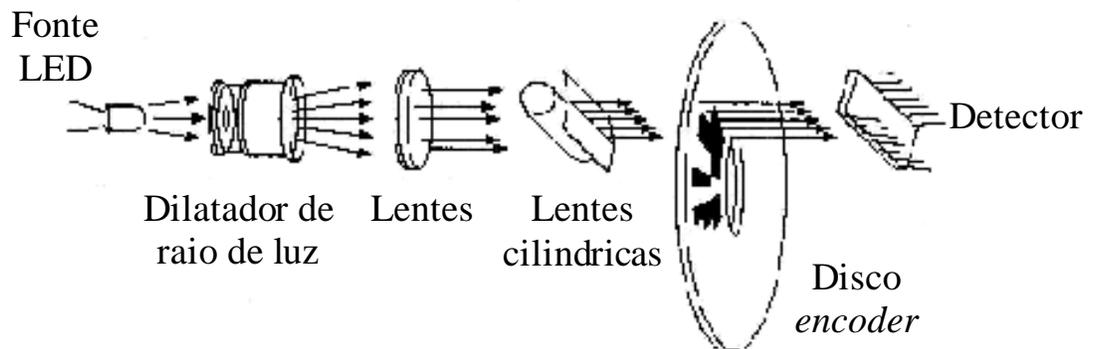


Figura 4.6. Codificador óptico absoluto.

Outro exemplo é o sensor de proximidade por fibra óptica, Figura 4.7. Este sensor, proporciona informação sobre a existência ou não de objetos que podem ser opacos, transparentes ou translúcidos. Se um destes objetos penetra na área (entre A e B), a luz que chega ao receptor tem menor intensidade e assim detecta-se o dito objeto. No sinal obtido por este sensor não existe um detalhamento das características do objeto detectado.

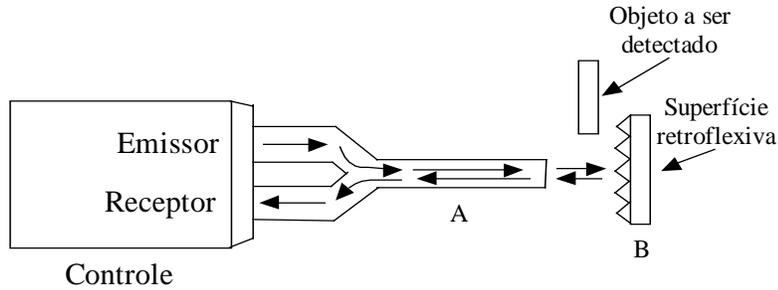


Figura 4.7. Sensor de proximidade por fibra óptica.

Sensor fixo, unidimensional, DT-DAG: Neste tipo de sensores, a discretização observada nos tipos anteriores ocorre tanto no tempo quanto na amplitude da grandeza sendo medida. Da mesma maneira que os anteriores, entretanto, ele é capaz de medir uma única grandeza colhida de uma região fixa do espaço. Como a saída deste sensor é um sinal discreto tanto no tempo como na amplitude, existe um erro implícito na informação medida, devido às discretizações efetuadas. Um exemplo típico de um sensor deste tipo é o do multímetro digital (formado por um circuito Sample & Hold mais conversor C/D), Figura 4.8, [Braga 1989].



Figura 4.8. Multímetro digital.

Sensor fixo, multidimensional, CT-CAG, CE e DE: Este tipo de dispositivo, apesar de continuar obtendo sua medida de uma região fixa do espaço, é capaz de fornecer a medida de mais de uma grandeza simultaneamente no tempo. Especificamente neste caso, o sinal medido é contínuo no tempo e na amplitude da grandeza medida. Um exemplo deste tipo de sensor é o anemômetro *Sonic* [Kocis & Figura 1996], típico dos produtos da WMC

(Weather Measure Corporation). Este tipo de sensor determina um vetor de velocidade do fluxo do ar, gases ou líquidos. Existem anemômetros para determinar dois componentes de velocidade V_x e V_y , Figura 4.9 (a), e para três componentes de velocidade V_x , V_y e V_z do fluxo do ar, Figura 4.9 (b).

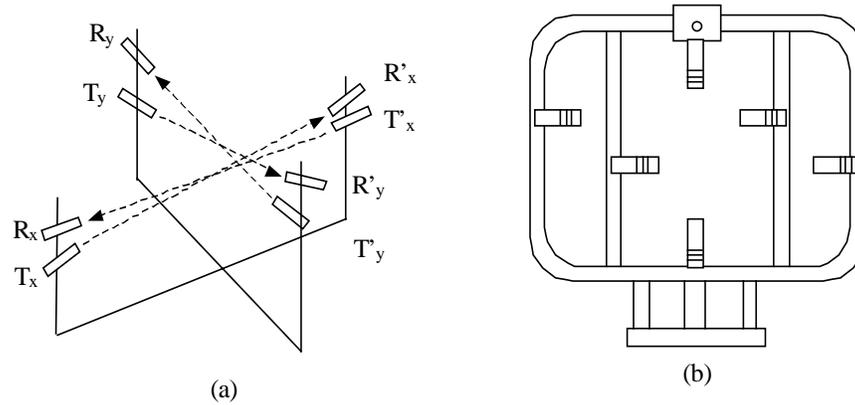


Figura 4.9. Anemômetro 2D (a), Anemômetro 3D (b).

O princípio de funcionamento dos anemômetros está baseado na medição do fluxo do ar observado na Figura 4.10 [Kocis & Figura 1996]. Especificamente, nos anemômetros são utilizados um **set-up** de transmissores e receptores ultrassônicos que determinam os outros componentes da velocidade do fluxo do ar. A seguir, explicamos o princípio de funcionamento da medição do fluxo do ar.

Primeiramente, é medido o tempo de propagação t_1 de um pulso ultrassônico desde um transmissor T_1 , a um receptor R_1 , como pode ser observado na Figura 4.10.

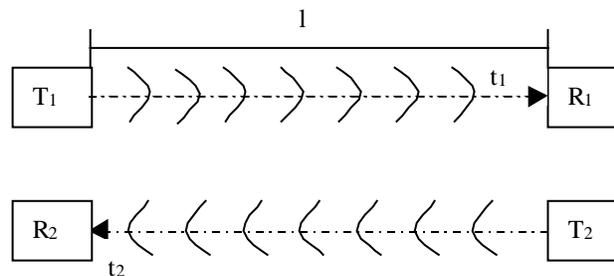


Figura 4.10. Princípio de funcionamento de um medidor da velocidade do fluxo de ar.

Então, a posição do transmissor e receptor e tempo de propagação são armazenados, t_2 é medido novamente em direção oposta, desde T_2 a R_2 . Assim, a diferença de tempo $\Delta t = t_2 -$

t_1 dá a informação da velocidade do fluxo do ar na direção da linha de conexão do transmissor e receptor.

Sensor fixo, multidimensional, DT-CAG, CE e DE: Este tipo de sensor diferencia-se do tipo anterior por ter seu sinal discreto no tempo. Da mesma maneira, sua região de medição é fixa no espaço, proporcionando informações de mais de uma grandeza. A saída é discreta no tempo e contínua na amplitude da grandeza medida. Como o tempo é discreto, na prática é necessário preservar-se a informação, que é mantida a mesma durante um passo de discretização no tempo. Um exemplo deste tipo de sensor é uma câmera fotográfica, Figura 4.11, que mede a intensidade da luz em um *array* bi-dimensional de pontos. Um exemplo mais dinâmico seria uma câmera de vídeo analógica.



Figura 4.11. Câmera fotográfica analógica.

Sensor fixo, multidimensional, CT-DAG, CE e DE: Neste tipo de sensor, a região do espaço onde ocorre o fenômeno sendo medido é fixa, e obtém-se mais de uma grandeza simultaneamente. O sinal obtido é contínuo no tempo, porém discreto na amplitude da grandeza. Exemplos deste tipo de sensores podem ser obtidos tomando-se sensores do tipo CT-CAG e acrescentando-se conversores C/D às saídas deste.

Sensor fixo, multidimensional, DT-DAG, CE e DE: Sensor coletando informações de uma região fixa do espaço, que determina mais de uma grandeza do ambiente. O sinal provido por este sensor é discreto tanto no tempo quanto na amplitude da grandeza. O exemplo mais típico deste tipo de sensor é uma câmera digital [Gonzalez & Woods 2000] fixa em um espaço, Figura 4.12.

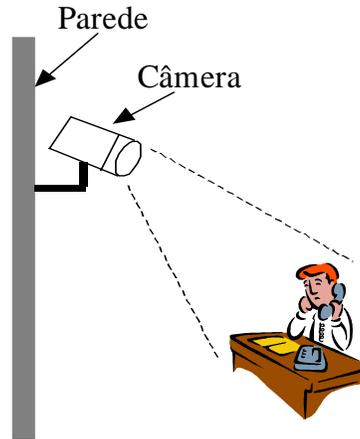


Figura 4.12. Câmera digital.

As câmeras digitais proporcionam uma imagem digital, que é uma imagem $f(x, y)$ discretizada tanto em coordenadas espaciais quanto em brilho. O valor de f em qualquer ponto (x, y) é proporcional ao brilho (ou níveis de cinza) da imagem naquele ponto. Uma imagem digital pode ser considerada como sendo uma matriz cujos índices de linhas e de colunas identificam um ponto na imagem, e o correspondente valor do elemento da matriz identifica o nível de cinza naquele ponto. Os elementos dessa matriz digital são chamados de elementos da imagem, elementos da figura, ou “*pixels*”.

Os sensores **fixo, multidimensional, HT e fixo, multidimensional, HAG** seriam sensores que operam sobre uma região fixa do espaço, obtendo mais de uma informação do fenômeno analisado. Os sinais deste tipo de sensores poderiam ser discretos tanto no tempo como no espaço, nas múltiplas grandezas medidas. Entretanto, apesar de sua factibilidade lógica, não encontrou-se na literatura consultada exemplos deste tipo de sensor. Isso não impede que sensores desse tipo possam ser apropriados em algum caso particular, e que no futuro existam tecnologias para se fabricar sensores desse tipo.

Sensor móvel, unidimensional, CT-CAG, CE e DE: Ao contrário dos exemplos de sensores anteriores, este tipo de sensor é capaz de operar em diferentes regiões do espaço, fazendo com isso as vezes de mais de um único sensor. Para este caso específico, o tipo de sinal obtido é contínuo no tempo e na amplitude da grandeza medida. Além disso, sua movimentação no espaço pode também ser contínua ou discreta. Exemplos destes sensores são quaisquer sensores fixo-unidimensionais CT-CAG que sejam colocados em plataformas

móveis controladas. Observa-se que, com isso, existe o ônus de termos de controlar a posição (e eventualmente a velocidade) destas plataformas, o que faz com que o uso deste tipo de sensores seja mais complexo do que sensores fixos. Entretanto, este tipo de sensor pode ser muito importante quando o elemento transdutor físico for muito custoso, impedindo a utilização de diversos sensores, ou quando o número de regiões do espaço onde o sistema deve operar for muito grande ou indefinido a priori.

Sensor móvel, unidimensional, DT-CAG, CE e DE: Esse dispositivo é similar ao anterior, com a única diferença que o sinal obtido é discreto no tempo. Sendo assim, deve trabalhar em diferentes regiões do espaço e determinar somente a informação de uma única grandeza. Sua movimentação no espaço pode ser contínuo (CE) ou discreta (DE), o que determina que o sensor possa movimentar-se por quaisquer pontos ou somente em um conjunto finito de pontos. Exemplos deste sensor, de maneira análoga ao caso anterior, podem ser construídos tomando-se um sensor fixo-mono-dimensionais-DT-CAG e colocando-o em uma plataforma móvel.

Sensor móvel, unidimensional, CT-DAG, CE e DE: Este dispositivo apresenta as mesmas características que os dois sensores mencionados anteriormente, sendo que sua diferença fundamental reside no tipo de sinal obtido. Neste caso, o sinal é contínuo no tempo e discreto na amplitude da grandeza medida. O sensor pode ainda operar de maneira contínua ou discreta no espaço. Um exemplo deste sensor é um sensor de proximidade de contato montado em um robô móvel.

Um sensor de proximidade de contato é um dispositivo que determina se existe um objeto próximo, por meio do contato entre esse objeto e um filamento rígido ou flexível, que diante do contato modifica seu estado. Sua constituição é muito simples, sendo formado basicamente por um filamento com uma extremidade localizada dentro do sensor (chave mecânica). Quando o filamento entra em contato com algum objeto ou obstáculo, a chave mecânica muda seu estado de aberta para fechada. Em animais, este tipo de sensor corresponderia a alguns tipos de antenas que alguns insetos possuem, ou ainda bigodes, pelos ou cerdas de alta sensibilidade tais como os bigodes de um gato. Neste sensor, a informação obtida é bem primária, pois o sensor só informa se existe algum objeto próximo, mas não determina qualquer característica desse objeto. O sensor de contato pode

ser utilizado sobre o dedo de uma garra de um robô móvel, Figura 4.13. A posição no espaço pode ser obtida a partir da posição da garra do robô.

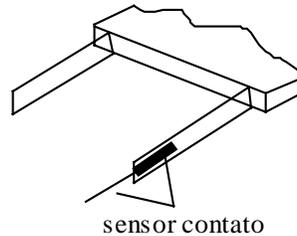


Figura 4.13. Sensor de proximidade de contato montado sobre o dedo de uma garra de um robô móvel.

Sensor móvel, unidimensional, DT-DAG, CE e DE: Este sensor pode operar em diferentes regiões do espaço, obtendo a informação de uma única grandeza cujo sinal é ao mesmo tempo discreto no tempo e na amplitude. Uma possível implementação desse sensor corresponderia ao sensor apresentado no caso anterior, onde exista uma base de tempo síncrona em que o sinal é coletado.

Sensor móvel, multidimensional, CT-CAG, CE e DE: Nesse tipo de sensor, ao mesmo tempo em que o dispositivo opera em diferentes regiões do espaço, diferentes grandezas são obtidas. No caso específico deste tipo, a saída do sensor é disponibilizada na forma de um sinal contínuo no tempo e na amplitude da grandeza medida, além da sua movimentação no espaço poder ser contínua ou discreta. Um exemplo típico deste tipo de sensores é o giroscópio (horizonte) de um avião. O giroscópio proporciona as seguintes informações: posição, inclinação e determina se o bico do avião está para cima ou para baixo, o que indica se o avião está subindo ou descendo. Esse sensor é móvel pois move-se junto com o avião.

Sensor móvel, multidimensional, DT-CAG, CE e DE: Este sensor diferencia-se do anterior por possuir seu sinal discreto no tempo. Poderíamos imaginar, por exemplo, o giroscópio do caso anterior mas fornecendo seus dados de maneira síncrona no tempo, a partir de um *polling*, por exemplo.

Sensor móvel, multidimensional, CT-DAG, CE e DE: Neste caso, é a amplitude da grandeza que é discretizada. Imagine portanto o giroscópio CT-CAG acoplado a um

conversor A/D em uma placa de computador, por exemplo, que forneça as informações em formato digital, próprio a ser processado por computadores.

Sensor móvel, multidimensional, DT-DAG, CE e DE: Este tipo de sensor discretiza o sinal tanto no tempo como na amplitude da grandeza. Imagine portanto um giroscópio totalmente digital, que tome amostras síncronas no tempo e as disponibilize em formato digital.

Outro exemplo deste tipo de sensor seriam os sensores de varreduras de linha utilizados em *scanners* de mesa, Figura 4.14, [Gonzalez & Woods 2000]. Estes sensores consistem de uma linha de fotoreceptores (elementos discretos de silício que têm uma tensão de saída proporcional à intensidade da luz incidente) disponibilizando uma saída em forma de linha digitalizada, que corresponderia a uma linha da imagem sendo *escaneada*. Através da movimentação deste sensor ao longo da superfície da folha, obtém-se uma imagem bidimensional, sem que seja necessário implementar-se um array matricial de fotoreceptores, o que seria muito mais custoso.



Figura 4.14. Scanner.

Os **sensores móveis multidimensionais HT e HAG**, da mesma maneira que os sensores fixos desta natureza, constituem apenas possibilidades lógicas, sendo que não foram detectadas implementações tecnológicas desses sensores na bibliografia consultada.

4.5.- Resumo

Neste Capítulo realizamos uma análise do tipo de conhecimento mais básico, ou mais elementar, encontrado em um sistema inteligente: o conhecimento sensorial. Para

efetuarmos essa análise, iniciamos pela descrição do comportamento semiótico de um sensor, conforme os elementos disponíveis na semiótica peirceana.

A seguir, desenvolvemos uma taxonomia de tipos de sensores que nos permite aprofundar nas diferentes particularidades que um fenômeno sensorial pode apresentar. Essa árvore foi construída utilizando como referência três níveis estruturais (nível da posição, dimensão e sinal). Por fim, apresentamos os diferentes tipos de sensores que podem ser derivados da árvore, bem como exemplos de cada um deles.

Capítulo 5. Controle Inteligente do Veículo Autônomo - Influência do Conhecimento Sensorial

5.1.- Introdução

Dando continuidade a este trabalho, a meta deste capítulo é desenvolver um exemplo de aplicação baseado no controle inteligente de um veículo autônomo, evidenciando a influência do conhecimento sensorial neste processo.

O problema abordado consiste em um veículo autônomo que se encontra em um determinado ambiente, composto por obstáculos e uma meta (ambos pré-definidos pelo usuário), sendo o objetivo o controle do veículo, de modo que o mesmo navegue pelo ambiente, evitando os obstáculos e atingindo a meta.

Várias abordagens de controle têm sido aplicadas para dar solução a problemas desta natureza [Chen & Trivedi 1995, Gudwin 1996, Taylor & Kriegman 1998, Simon et. al 2000], mas ainda existem desafios a serem vencidos.

Na abordagem proposta por Gudwin [Gudwin 1996] o veículo cria interativamente um modelo do ambiente por meio de um sistema de sensores. Baseado neste modelo, implementa-se uma heurística para a determinação das ações de controle a serem realizadas sobre a direção do veículo. O mecanismo de controle é implementado utilizando Redes de Objetos [Gudwin 1996, Gudwin & Gomide 1997d, Gudwin & Gomide 1998a, Gudwin & Gomide 1998b, Gudwin & Gomide 1999]. Esta rede é composta por diferentes tipos de conhecimentos, os quais contribuem para dar solução ao problema da navegação autônoma.

A abordagem a ser seguida no presente trabalho é baseada na estratégia desenvolvida por Gudwin, substituindo-se o controle do veículo de uma Rede de Objetos por uma **Rede de Agentes** [Guerrero 2000]. A vantagem de se utilizar uma rede de agentes é a possibilidade de se implementar o controle a partir da ferramenta **ONtoolkit** (*Object Networks toolkit*) [Guerrero et. al. 1999, Guerrero 2000]. Assim, a implementação deste controle em uma Rede de Agentes se presta não somente à evidencia do conhecimento sensorial como aqui pretendido, mas também a uma validação da ferramenta **ONtoolkit**,

uma vez que esta implementação é a primeira implementação mais complexa desenvolvida para esta ferramenta. Da mesma maneira, serve como plataforma de teste para aplicações de tempo-real utilizando redes de agentes, pois para sua implementação foi necessária a criação de uma interface entre o ONtoolkit e o ambiente de simulação, permitindo um total desacoplamento entre o processo e o controle.

A seguir, será explicado como foi realizado o controle do veículo, para depois passarmos à análise da influência do conhecimento sensorial no desenvolvimento do mesmo.

5.2.- Descrição do problema da navegação

O problema da navegação se desenvolve em um ambiente caracterizado por obstáculos e uma meta. Neste sentido, a trajetória deve seguir um percurso factível até o ponto de meta (pré-estabelecido), evitando os obstáculos introduzidos no ambiente. Os obstáculos são objetos criados pelo usuário, apresentando parâmetros variáveis tais como: cor, dureza e gosto. O veículo apresenta um aparato sensorial e um motor, sendo movido com uma bateria recarregável, que é monitorada pelo seu sistema de sensoreamento [Gudwin 1996].

5.2.1.- Descrição do veículo

O veículo é composto por sensores e atuadores. Os tipos de sensores são: de informação remota e de contato. Os tipos de atuadores são: de posição (referente ao sensor remoto) e de movimentação (referente ao veículo).

As variáveis que dizem respeito ao veículo, Figura 5.1, são apresentadas a seguir:

- coordenadas x, y , *pitch* Ψ ;
- velocidade nominal v ;
- distância entre os eixos D (valor constante);
- ângulo das rodas θ em relação ao eixo longitudinal.

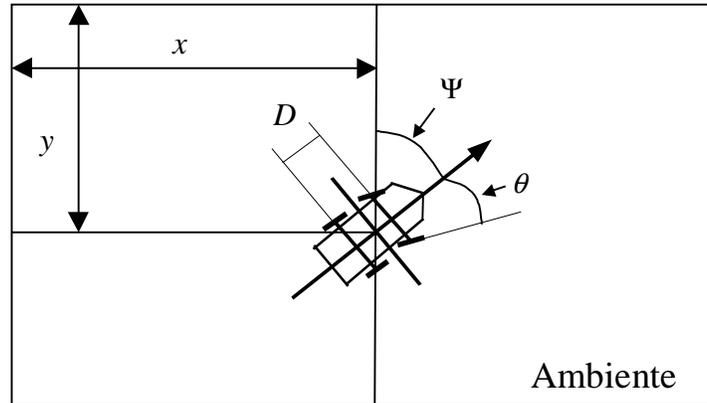


Figura 5.1. Variáveis de interesse do veículo.

O modelo dinâmico do veículo, utilizado neste trabalho, foi o apresentado por [Gudwin 1996]. Este modelo permite que a velocidade e o ângulo das rodas sejam independentes, isto é, o ângulo das rodas não é afetado por diferentes velocidades.

5.2.1.1.- Sensores de Informação Remota

O sensor de informação remota consiste em um mecanismo de visão formado por 64 sensores (matriz 8 x 8). O objetivo deste sensor é detectar as cores e a informação da posição dos objetos do ambiente, não sendo capaz de fornecer as características de cada objeto. A área retangular dos sensores pode ser focalizada em qualquer posição, Figura 5.2.

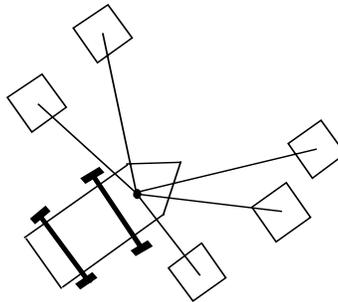


Figura 5.2. Exemplo de focalização dos sensores de informação remota.

Analisando a classificação de sensores apresentada no Capítulo 4, podemos classificar este sensor como Móvel-Multidimensional-DT-DAG-DE. A mobilidade é dada segundo a definição 4.3, por ser um dispositivo que está colocado em uma plataforma móvel (veículo). É multidimensional porque em sua medição proporciona informação de

diferentes grandezas ao mesmo tempo (referentes a uma matriz de 8x8 elementos). A informação obtida é discreta no tempo, amplitude da grandeza medida e no espaço.

5.2.1.2.- Sensores de contato

Os sensores de contato são localizados nas extremidades do veículo, Figura 5.3, e fornecem a informação do contato do veículo com obstáculos. Estes sensores são fixos ao veículo e capazes de perceber as características intrínsecas dos objetos do ambiente. Assim, os objetos são classificados em agradáveis ou desagradáveis.

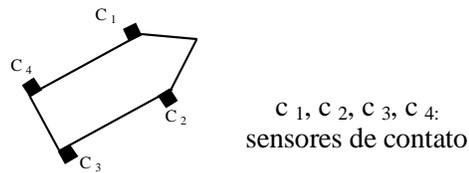


Figura 5.3. Sensores de contato.

Fazendo a mesma análise que na seção acima, podemos classificar este sensor como do tipo, Móvel-Unidimensional-DT-DAG-DE. Este sensor está colocado no veículo móvel, porem segundo a definição 4.3 podemos classifica-lo como móvel. A unidimensionalidade pode ser observada na capacidade de proporcionar informação de uma única grandeza (valores associados à característica do gosto). Finalmente, toda a informação obtida aparece discretizada tanto no tempo, amplitude de grandeza medida e no espaço (DT-DAG-DE).

5.2.1.3.- Atuadores de Posição dos Sensores Remotos

Os atuadores de posição atuam em função do ângulo (φ) e em função do raio de ação (ρ), Figura 5.4.

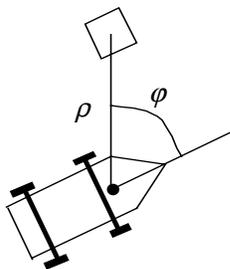


Figura 5.4. Atuadores da posição dos sensores de informação remota.

5.2.1.4.- Atuadores de movimentação do veículo

Os atuadores de movimentação do veículo são dois: atuador de tração e de ângulo. O atuador de tração determina três estados para a velocidade nominal do veículo, sendo:

- v é positivo, se o veículo está se movimentando para frente;
- v é negativo, se o veículo está se movimentando para trás;
- $v = 0$, se o veículo está parado.

O outro atuador determina o ângulo (θ) da posição das rodas em relação ao eixo longitudinal do veículo. Esse atuador determinará a direção que o veículo deverá seguir, quando a velocidade nominal for diferente de zero. O ângulo das rodas poderá estar entre $-\pi/4$ e $\pi/4$ sendo que o ângulo zero corresponde a seguir em frente [Gudwin 1996].

5.3.- Descrição do ambiente para movimentação do veículo autônomo

O ambiente para a movimentação do veículo está formado por um retângulo (paredes), que contém em seu interior diversos objetos. Os objetos são caracterizados por suas propriedades físicas: **cor (12 cores)**, **dureza** e **gosto**. Por meio da **dureza** dos objetos podemos determinar a capacidade do veículo de navegar sobre esses objetos. Os objetos com valor dureza “1” são denominados de intransponíveis e com valor “0” transponíveis. A característica **gosto** corresponde ao grau de desejo ou repulsa proporcionado pelo contato com o objeto. O gosto é detectado pelos sensores de contato, seu valor varia de -1 a 1 . O valor “ -1 ” corresponde a desprazer, “1” a prazer e “0” a indiferença. As propriedades de dureza e gosto têm vínculo direto com a **cor** do objeto. Assim, determinando a cor do objeto, determinam-se indiretamente as outras propriedades do objeto. O ambiente que utilizaremos neste trabalho foi o desenvolvido por [Gudwin 1996], adaptado para a substituição do controlador por um controlador externo, via *sockets*. O mesmo permite ao usuário a construção de diferentes ambientes de testes, variando as características dos objetos (cor, gosto e dureza) do ambiente e do veículo. Este ambiente está formado pela

tela inicial do ambiente virtual, com possibilidades para a definição das características dos materiais do ambiente, edição do veículo, simulação e painel de controle.

5.4.- *Sistema de Controle Inteligente*

Nesta seção, será apresentado o Sistema de Controle Inteligente para o veículo autônomo modelado por meio de uma **Redes de Agentes** e implementado no **ONtoolkit**. O objetivo deste sistema de controle é conduzir o veículo até uma determinada meta evitando os obstáculos do ambiente.

A entrada da Rede de Agentes apresenta as seguintes variáveis:

- ◆ x, y, Ψ : posição do veículo;
- ◆ $ax, ay, a\Psi$: posição anterior;
- ◆ mx, my : meta;
- ◆ v : velocidade nominal do veículo no instante anterior;
- ◆ θ : ângulo das rodas no instante anterior;
- ◆ ρ : distância do centro do veículo ao sensor de informação remota no instante anterior (*sclength*);
- ◆ φ : ângulo formado entre o eixo longitudinal do veículo e o sensor de informação remota no instante anterior (*scangle*);
- ◆ c : vetor de sensores de contato (c_1, c_2, c_3, c_4) , onde c_1, c_2 determinam o gosto nas extremidades dianteiras esquerda e direita e c_3, c_4 nas extremidades traseiras direita e esquerda, Figura 5.3;
- ◆ s : corresponde a uma matriz (8x8), 64 sensores;

A saída do controlador corresponde a:

- ◆ v : velocidade nominal a ser aplicada;
- ◆ θ : ângulo na roda a ser aplicado;
- ◆ ρ : distância do sensor de informação remota, a ser aplicada;
- ◆ φ : ângulo do sensor de informação remota, a ser aplicado;

O Sistema de Controle Inteligente do veículo autônomo pode ser observado na Figura 5.5. Está formado por sete módulos: interface de entrada, percepção e modelagem do

Em princípio, cada lugar está associado a uma determinada classe. Com isso, os objetos ou agentes que se localizam nestes lugares serão objetos ou agentes de uma classe que terá o mesmo nome do lugar.

5.4.1.1.- Módulo da Interface de Entrada (MIE)

Este módulo recebe as informações provenientes do ambiente para sua posterior utilização no controle do veículo autônomo. O mesmo é formado por três lugares fundamentais: *InputVector*, *StatusPacket* e *Killer*, Figura 5.6:

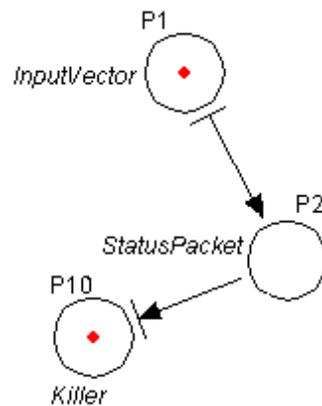


Figura 5.6. Módulo de interface de entrada.

Classe	Função	Nome
<i>InputVector</i>	Estabelece a comunicação (via <i>socket</i>) entre a Rede de Agentes e o ambiente.	generate
<i>StatusPacket</i>	Contém os dados provenientes do veículo e os sensores.	StatusCar
<i>Killer</i>	Eliminam os objetos do lugar <i>StatusPacket</i> a cada iteração, uma vez que foram utilizados pelos diversos módulos da rede.	kill

Tabela 5.1. Classes do módulo interface de entrada.

5.4.1.2.- Módulo de Percepção e Modelagem do Ambiente (MPMA)

O módulo de percepção e modelagem do ambiente é formado pela seguinte subrede, Figura 5.7:

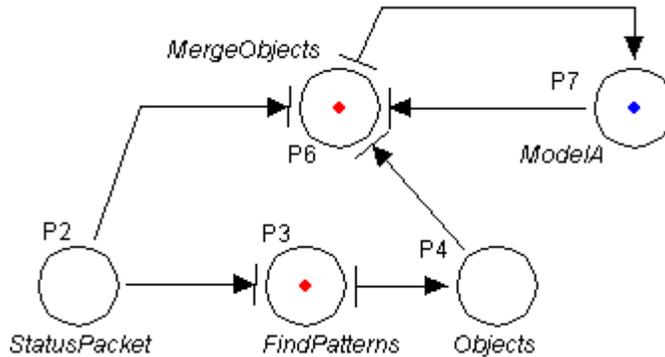


Figura 5.7. Módulo de percepção e modelagem do ambiente.

Classe	Função	Nome
<i>FindPatterns</i>	Reconhece os diferentes objetos do ambiente.	process
<i>Objects</i>	Contêm uma lista dos diferentes objetos detectados por <i>FindPatterns</i> . Cada objeto apresenta os seguintes atributos: X_0 , Y_0 , X_1 , Y_1 , cor, gosto.	ObjectList
<i>MergeObjects</i>	Une dois objetos por meio de três regras.	mergeObj
<i>ModelA</i>	Classe equivalente à classe <i>Objects</i> . Contém uma lista de objetos do ambiente, os quais são obtidos por <i>MergeObject</i> .	ObjectList

Tabela 5.2 Classes do módulo percepção e modelagem do ambiente.

Para o reconhecimento dos diferentes objetos pelo agente em *FindPatterns* iniciamos com a análise de cada ponto da matriz, sendo realizada uma varredura no sentido horizontal e depois no vertical, buscando pontos que sejam da mesma cor que o ponto corrente (Figura

5.8). Nos casos das Figuras 5.8 (a) e 5.8 (b), a busca é muito simples, mas para o caso da Figura 5.8 (c) é necessário a utilização do seguinte algoritmo [Gudwin 1996]:

- A busca no sentido vertical deve ser realizada em cada coluna rastreada no sentido horizontal, tomando a menor distância encontrada. Se não for realizado esse procedimento, o ponto indicado na figura retorna o quadrado completo (toda a matriz), uma vez que o ponto rastreado pode dar margem a essa interpretação se a busca fosse realizada apenas na sua coluna.

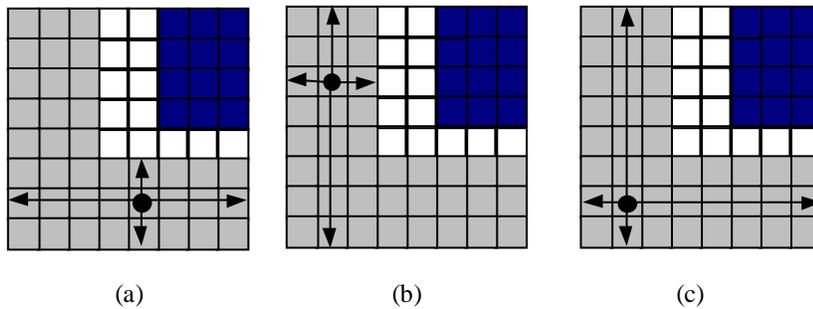


Figura 5.8. Exemplos de reconhecimento de padrão.

Os objetos obtidos do agente em *FindPatterns* são enviados ao lugar *Objects*.

Para a união dos objetos efetuada pelo agente em *MergeObjects*, foi utilizada a lista de objetos da classe *Objects*. Para a dita união existem três regras fundamentais: alinhamento horizontal, vertical e inclusão [Gudwin 1996], Figura 5.9.

Estas regras são muito simples:

- (a) - Dois objetos (o_1 e o_2) alinhados horizontalmente podem corresponder a um único objeto cujo tamanho equivale à superposição dos outros dois objetos.
- (b) - Dois objetos (o_1 e o_2) alinhados verticalmente podem corresponder a um único objeto cujo tamanho equivale à superposição dos outros dois objetos.
- (c) - Se um determinado objeto o_2 está em grande parte contido em um objeto o_1 , o_2 é apenas uma parte de o_1 o que permite eliminar o objeto o_2 .

Podemos observar que os objetos não precisam estar perfeitamente alinhados, existindo uma tolerância (devido ao fato de que os sensores de visão não são precisos).

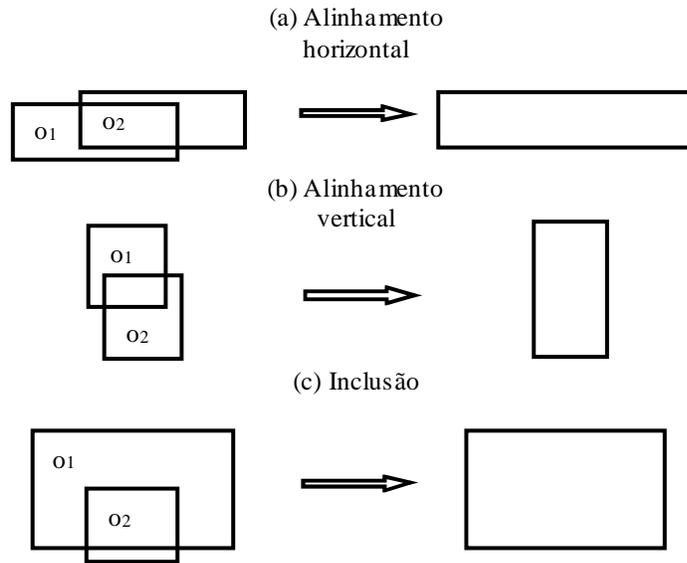


Figura 5.9. Regras de integração de objetos.

O resultado final deste módulo é muito importante para todo o funcionamento da rede, devido a que obtemos os modelos dos objetos do ambiente, que servirão para traçar a futura trajetória do veículo.

5.4.1.3.- Módulo de Geração de Pontos e Arcos (MGPA)

Neste módulo geram-se pontos e arcos que formarão a trajetória a ser seguida pelo veículo. Na Figura 5.10, podemos observar a subrede correspondente ao módulo, que tem por entrada: *StatusPacket*, *ModelA*, *Activator* e *CPV* (conjunto de pontos válidos).

As classes associadas aos lugares *CPS* (conjunto de pontos sugestão) e *CPV* (conjunto de pontos válidos) são equivalentes e contém uma lista de pontos, onde cada ponto está formado pelos seguintes atributos:

- coordenadas do ponto (x, y, p) , sendo p o ângulo correspondente a uma possível movimentação do veículo, caso esteja no ponto (x, y) ;
- pp - endereço do ponto pai: é o ponto tomado como base para a geração de um novo ponto;
- $type$ - maneira como um ponto é gerado.

Classe	Função	Nome
<i>CAS</i>	Conjunto de arcos sugestão. Isto é, arcos candidatos a serem válidos.	ArcList
<i>EvaluateArc</i>	Avalia os arcos segundo um critério determinado.	Evaluate
<i>CAA</i>	Contêm a avaliação dos arcos.	Evalist
<i>InsertArcDec</i>	Decide a inserção dos arcos no lugar <i>CAV</i> .	InsertArc
<i>CAV</i>	Conjunto de arcos válidos.	ArcList
<i>InternalControl</i>	Decide a geração de novos pontos, caso não exista nenhum arco cujo destino seja a meta.	Controlate
<i>Activator</i>	Corresponde a um “ <i>flag</i> ” que determina a geração de pontos sugestão pelo agente em <i>GenPointSug</i>	Actuate

Tabela 5.3. Classes do módulo de geração de pontos e arcos.

O agente em *GenPointSug* gera pontos-sugestão, os quais são enviados ao lugar *CPS*. Existem quatro formas de gerar pontos, as quais seguem os mesmos procedimentos de Gudwin [Gudwin 1996].

Na implementação, estas formas de gerar pontos foram obtidas pelas seguintes funções:

- *genfromP*: extrai do objeto em *StatusPacket* as coordenadas da meta, atribuindo ao atributo *type* o valor 0 e a *pp* o valor NULL.
- *genfromT*: extrai as coordenadas da posição do veículo, atribuindo 1 a *type* e NULL a *pp*.
- *genfromCPV*: a partir de um ponto contido no lugar *CPV*, diferente da meta, são gerados aleatoriamente ângulos entre $-\pi/4$ e $\pi/4$. Esse ângulo corresponde a um eixo que será utilizado para a geração do novo ponto, Figura 5.11. A função, gera uma reta na direção do ângulo e verifica, para cada objeto do modelo do ambiente considerado como repulsivo, se existe uma colisão. Além disso, são consideradas as retas que não colidam com objetos do ambiente. Depois de cada verificação, o novo ponto estará a uma

distância de 50 % da colisão. Finalmente determina-se a coordenada do novo ponto, o atributo *type* é 2 e *pp* é o endereço do ponto contido em *CPV* que gera o novo ponto.

- *genfromMA*: a outra maneira de obter pontos-sugestão pode ser observada na Figura 5.12. Acrescenta-se uma borda de segurança sobre os vértices correspondentes a cada objeto contido em *ModelA*. Essa borda corresponde à largura do veículo, para que o mesmo possa navegar com segurança, sendo esse valor um parâmetro do sistema. Para este caso, a função atribui NULL a *pp* e 3 a *type*.

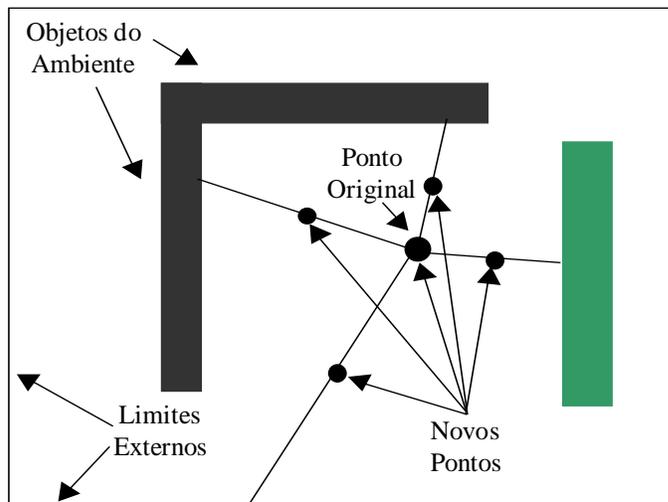


Figura 5.11. Geração de novos pontos segundo um ponto da *CPV*.

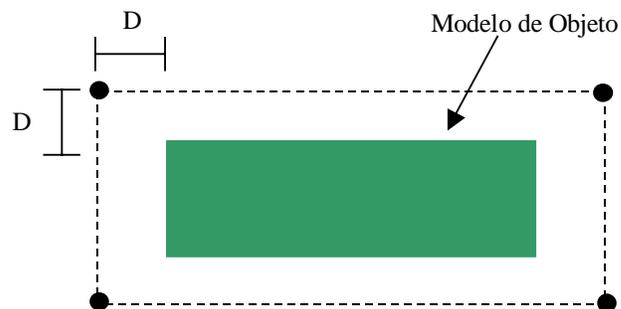


Figura 5.12. Geração de novos pontos segundo o modelo do ambiente.

Logo, cada ponto obtido é avaliado para determinar se pode ser utilizado para a geração dos arcos. O agente que realiza esta tarefa está localizado em *EvaluatePoint*, sendo utilizados os valores dos gostos associados a cada objeto e as distâncias entre o ponto obtido e os objetos do *ModelA*. A avaliação é calculada segundo a seguinte equação:

$$avalição = \min_i \left(taste_i, e^{(-0.4 \cdot dto(i))} \right)$$

onde:

$taste_i$ - corresponde ao gosto associado a cada objeto i .

$dto(i)$ - corresponde à distância entre o ponto e o objeto i , Figura 5.13:

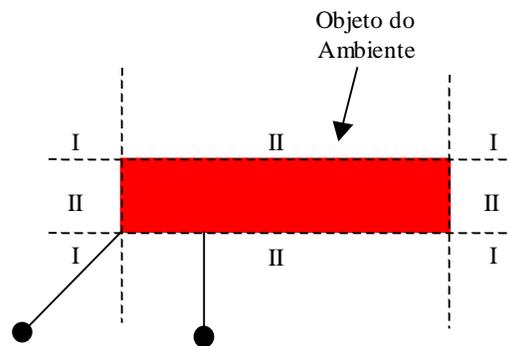


Figura 5.13. Cálculo da distância até o objeto.

Para o cálculo da distância, contemplam-se duas situações:

- se o ponto estiver em algum dos quadrantes tipo I, então a distância do ponto até o objeto é calculada como a distância até o vértice mais próximo do objeto.
- se o ponto estiver em algum dos quadrantes tipo II, então calcula-se a distância até o lado mais próximo do objeto.

O agente em *SendPointDec* determina se os pontos podem ser enviados ao lugar *CPV*. Para isto, é verificado se a avaliação dos pontos é superior a um limiar (o campo de *threshold*). Em caso positivo, os pontos são liberados para *CPV*.

O agente em *GenerateArc* gera arcos de duas formas:

- quando o ponto origem é de *type 2*, o arco é gerado tomando-se como origem o endereço do ponto pai e como destino o endereço do próprio ponto.
- quando o ponto origem é *type 1, 2* ou *3* e destino é *type 0* ou *3*.

Em seguida, os arcos são enviados para o lugar *CAS* e serão avaliados pelo agente em *EvaluateArc*. Este agente primeiramente avalia se os pontos origem são adequados. Em seguida, verifica se a reta que une os pontos de origem e destino não cruza nenhum objeto do ambiente. Quando existe cruzamento (ponto destino é *type 2*), utilizamos o modelo do objeto estendido (Figura 5.14 (b)). Caso exista algum cruzamento (ponto destino é *type 3* ou 0), serão considerados os gostos dos objetos do ambiente e utilizamos o modelo do objeto estendido Figura 5.14 (a).

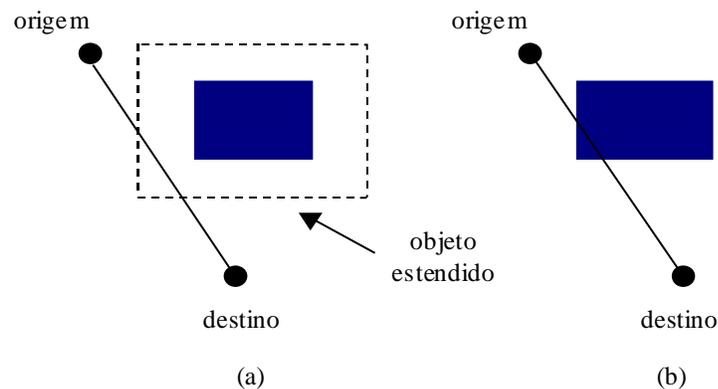


Figura 5.14. Avaliação de um arco - (a) arco tipo 2.-(b) arco tipo meta ou 3.

Envia-se a avaliação resultante ao lugar *CAA* para ser utilizada pelo agente em *InsertArcDec*. Este agente envia os arcos para o lugar *CAV*, desde que sejam satisfeitas as seguintes condições:

- se a avaliação dos arcos tem seu valor acima de um limiar (o campo de *threshold*).
- é verificado se os arcos sugestão não cruzam nenhum dos arcos em *CAV*.

O agente em *InternalControl* determina se existe algum arco cujo destino seja a meta e caso isto ocorra, não são gerados novos pontos.

O agente em *Activator* corresponde a um “*flag*” que determina se pontos gerados pelo agente em *GenPointSug* continuam ou não sendo gerados a partir da informação gerada pelo agente em *InternalControl*.

5.4.1.4.- Módulo de Geração e Otimização da Trajetória (MGOT)

Neste módulo, gera-se a trajetória ótima a ser seguida pelo veículo para atingir uma meta. A Figura 5.15, mostra a subrede que executa esta operação.

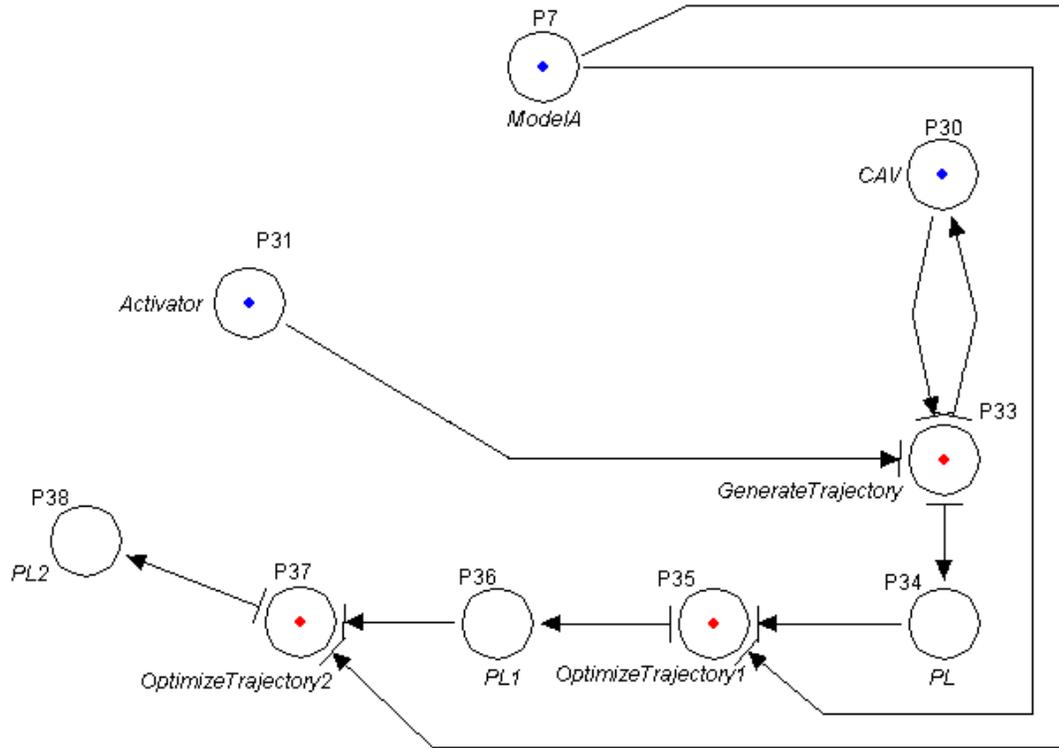


Figura 5.15. Módulo de geração e otimização da trajetória.

Classe	Função	Nome
<i>GenerateTrajectory</i>	Gera a trajetória a ser seguida pelo veículo.	gtrajectory
<i>PL</i>	Armazena a trajetória.	Trajectory
<i>OptimizeTrajectory</i>	Otimiza a trajetória eliminando arcos redundantes.	optimize
<i>PL1</i>	Armazena a trajetória.	Trajectory
<i>OptimizeTrajectory2</i>	Otimiza a trajetória gerando novos pontos.	optimize
<i>PL2</i>	Armazena a trajetória.	Trajectory

Tabela 5.4. Classes do módulo de geração e otimização da trajetória.

Como observamos na Figura 5.15, este módulo apresenta como entrada: *StatusPacket*, *ModelA* e *CAV* (conjunto de arcos válidos).

O passo seguinte otimiza a trajetória anterior. Este processo é realizado pelo agente em *OptimizeTrajectory*, onde eliminam-se os arcos redundantes (Figura 5.16). Os arcos redundantes são aqueles que, quando eliminados, a trajetória resultante continua sendo um percurso factível. Este percurso factível (nova trajetória) envia-se para o lugar *PL1*.

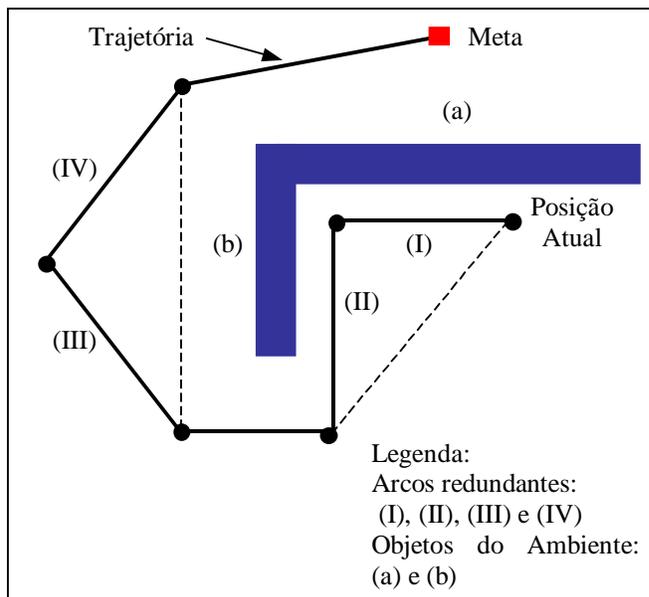


Figura 5.16. Eliminação de arcos redundantes da trajetória.

O agente em *OptimizeTrajectory2* tenta uma nova otimização. Neste caso, são gerados pontos aleatórios a partir dos pontos da trajetória em questão, com exceção da posição atual e da meta (Figura 5.17). Esta nova trajetória (formada pelos pontos aleatórios) é testada por meio dos modelos do ambiente para determinar possíveis melhorias (trajetória aprimorada). Por último, a trajetória resultante é enviada para o lugar *PL2*.

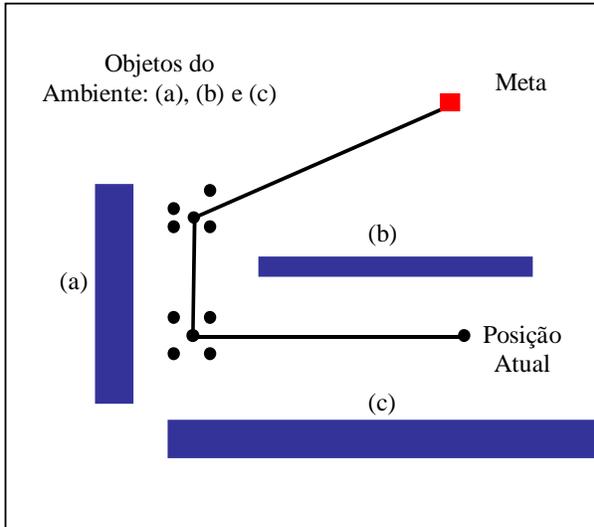


Figura 5.17. Otimização dos pontos da trajetória.

5.4.1.5.- Módulo de Controle Motor (MCM)

Este módulo está encarregado de gerar as ações de controle relacionadas ao ângulo das rodas e velocidade do veículo. A seguir observamos a seção da rede que realiza essas funções.

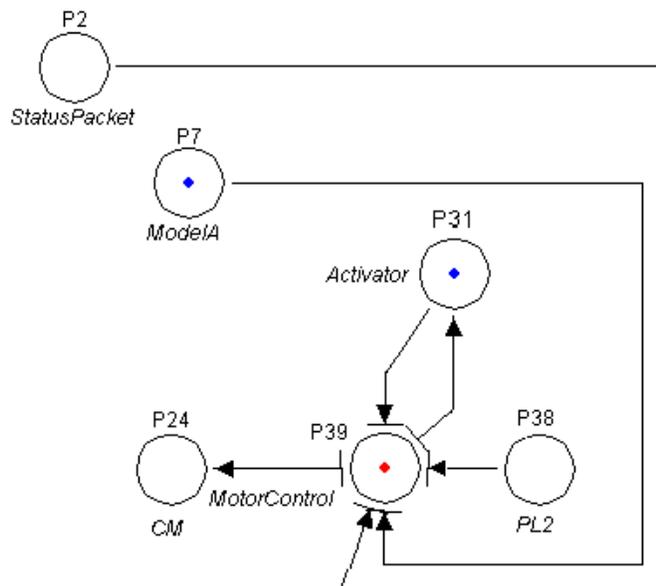


Figura 5.18. Módulo de controle motor.

Classe	Função	Nome
<i>MotorControl</i>	Proporciona o controle motor do veículo (velocidade e ângulo das rodas).	GenerateCM
<i>CM</i>	Armazena a velocidade e ângulo das rodas.	CPCControl

Tabela 5.5. Classes do módulo de controle motor.

O agente em *MotorControl* recebe informação de entrada dos lugares: *PL2* (contém a trajetória a seguir pelo veículo), *Activator*, *ModelA* e *Status Packet*. Esse agente conduz o veículo pela trajetória armazenada em *PL2*. Para realizar esta operação basta determinar as coordenadas polares do ponto a ser atingido em função da posição do veículo, determinando assim, uma nova velocidade e o novo ângulo da roda. Podem existir casos em que seja preciso que o veículo realize uma manobra para atingir a meta, como pode ser observado na Figura 5.19.

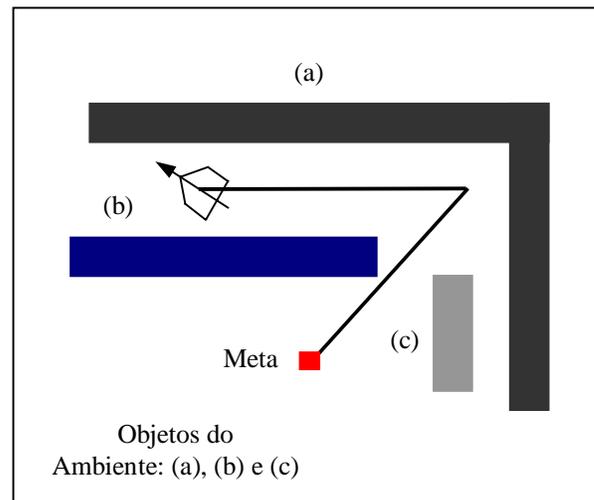


Figura 5.19. Manobra do veículo.

Para verificar a necessidade de manobra, calcula-se a trajetória ótima para se atingir o ponto da meta. Essa trajetória ótima corresponde a colocar o ângulo da roda em seu máximo (pode ser para a direita ou esquerda, segundo a direção da meta), e deixar o veículo descrever uma circunferência, até que este se direcione de frente à meta (Figura 5.20).

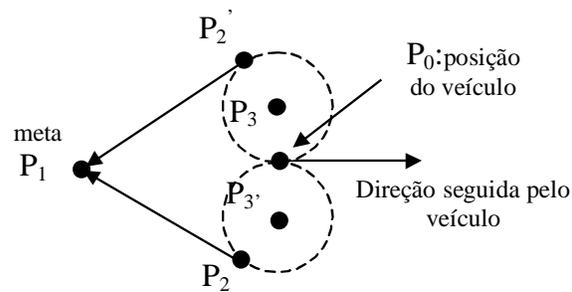


Figura 5.20. Curva mínima do veículo.

Podem existir casos em que a trajetória obtida de *PL2* não consiga ser seguida pelo veículo, devido a que, quando esta foi criada, o veículo não tinha conhecimento de todos os objetos do ambiente. Em tal caso, envia-se uma informação para o lugar *Activator*, o que fará com que o Módulo de Geração de Pontos e Arcos (MGPA) realize novamente suas funções. Em seguida, gera-se uma nova trajetória no Módulo de Geração e Otimização da Trajetória (MGOT). O lugar *CM* conterà, ao final do processo, um objeto com os valores da velocidade e o ângulo das rodas a serem aplicados ao veículo.

5.4.1.6.- Módulo de Controle Visual (MCV)

O controle visual corresponde ao controle do sensor de informação remota (SIR). Este módulo é encarregado de proporcionar os valores para a movimentação do sensor em caso seja focalizado algum objeto do ambiente, *GenerateInducedCV*. Em caso que não seja focalizado nenhum objeto, são gerados de forma aleatória estes valores por medio de *GenerateRandomCV*. Na Figura 5.21 observamos a sub-rede que está encarregada de fazer estas funções.

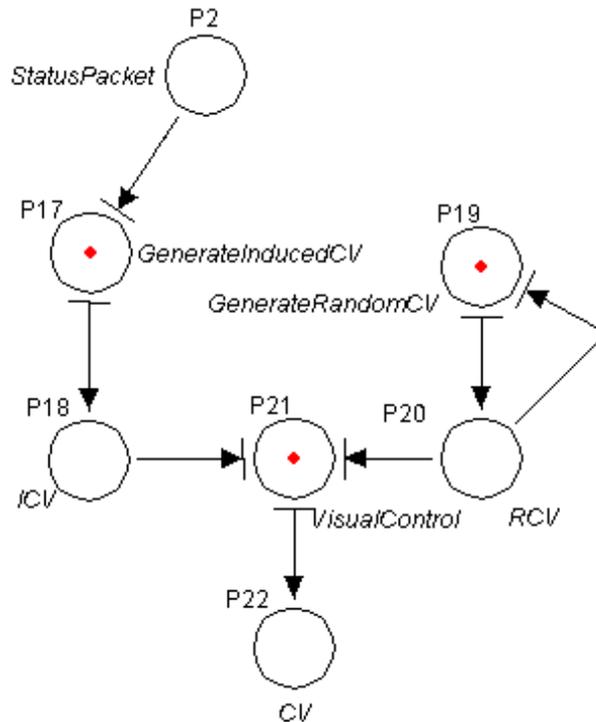


Figura 5.21. Módulo de controle visual.

Classe	Função	Nome
<i>GenerateInducedCV</i>	Gera uma nova movimentação do sensor informação remota (<i>scangle</i> e <i>sclength</i>) a partir do centro de massa	generateICV
<i>ICV</i>	Contém os valores de <i>scangle</i> e <i>sclength</i> .	VSPosition
<i>GenerateRandomCV</i>	Gera os valores de <i>scangle</i> e <i>sclength</i> de forma aleatória.	generateRCV
<i>RCV</i>	Contém os valores de <i>scangle</i> e <i>sclength</i> .	VSPosition
<i>VisualControl</i>	Decide entre duas sugestões de controle <i>ICV</i> o <i>RVC</i> .	generateCV
<i>CV</i>	Contém os valores de <i>scangle</i> e <i>sclength</i> .	VSPosition

Tabela 5.6. Classes do módulo de controle visual.

O agente em *GenerateInducedCV*, calcula o centro de massa da imagem obtida pelo sensor visual, Figura 5.22, sugerindo uma movimentação nesse sentido (dirigida ao centro de massa) e realizando um reajuste posicional (compensação) referente a cada elemento envolvido na movimentação.

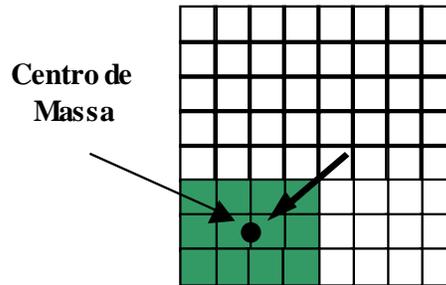


Figura 5.22. Cálculo do centro de massa.

As equações para o re-cálculo de *scangle* e *sclength* aparecem em Gudwin [Gudwin 1996]. Estes novos valores são enviados para *ICV*.

O agente em *GenerateRandomCV* gera os valores de *scangle* e *sclength* aleatoriamente, sendo estes enviados para *RCV*.

O agente em *VisualControl*, elabora a ação de controle segundo as informações provenientes de (*ICV* e *RCV*). Se o sensor de informação remota focaliza um objeto do ambiente, a decisão será automaticamente inferida a partir da informação contida em *ICV*. Em caso contrário, será enviada uma ação de controle aleatória.

5.4.1.7.- Módulo de Interface de Saída (MIS)

Este módulo integra o Controle Visual e o Motor para atuar sobre a condução do veículo autônomo. Na Figura 5.24, podemos observar a subrede pertencente a esse módulo.

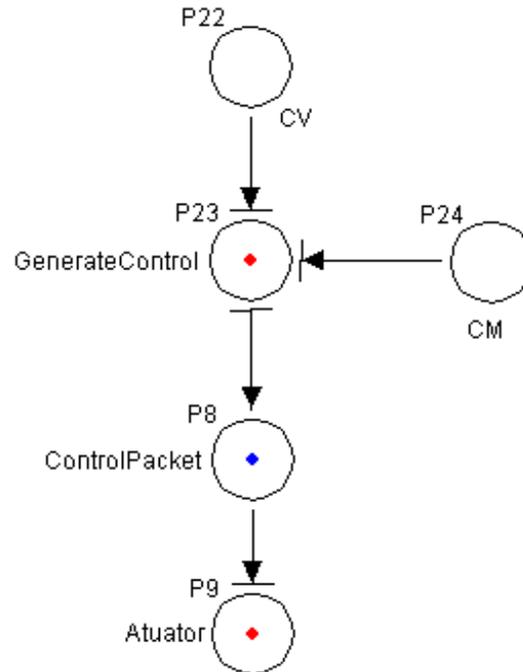


Figura 5.23. Módulo da interface de saída.

Classe	Função	Nome
<i>CV</i>	Contém os valores de <i>scangle</i> e <i>sclength</i> .	VSPosition
<i>CM</i>	Contêm os valores da velocidade e ângulo das rodas.	CPCControl
<i>GenerateControl</i>	Integra o controle Visual e Motor.	generateControl
<i>ControlPacket</i>	Contêm a informação necessária para o controle do veículo.	ControlCar
<i>Atuator</i>	Envia os dados em forma de uma ação de controle, significando uma nova movimentação do veículo dentro do ambiente virtual.	actuate

Tabela 5.7. Classes da interface de saída.

5.4.1.8.- Coordenação dos Módulos da Rede

Os módulos da rede apresentam uma coordenação bem definida para o desempenho correto do controle do veículo autônomo. Continuamente, cada módulo captura e gera informações que servirão para o trabalho dos módulos restantes. É importante destacar que neste tipo de rede cada objeto decide quando será executada sua função, o que permite um melhor desempenho da rede. Não existe uma função centralizada que dirija o funcionamento da mesma, sendo esta decisão a cargo de cada objeto.

Primeiramente, ativa-se o módulo de interface de entrada que recolhe as informações provenientes do ambiente. A seguir, é ativado o módulo de controle visual com o objetivo de encontrar e focalizar os objetos do ambiente. Quando este módulo termina a focalização, ativa-se o módulo de percepção e modelagem do ambiente. Esta ativação dos diferentes módulos é totalmente autônoma e distribuída, sendo sincronizada pelos agentes e objetos ocupando os diferentes lugares da rede.

O módulo de percepção e modelagem do ambiente é fundamental para o desenvolvimento do controle do veículo. Este módulo gera um modelo do objeto focalizado e tenta integrá-lo a outros modelos já existentes. Terminado este módulo, o controle visual retorna a seu modo de operação, repetindo este ciclo. Os pontos e arcos são gerados através do módulo de geração de pontos e arcos. Estes são gerados a partir da entrada sensorial e com base no modelo do ambiente.

Com os arcos obtidos do módulo anterior, passamos a gerar a trajetória a ser seguida pelo veículo até chegar à meta, e posteriormente serão realizadas duas otimizações para esta trajetória. Todas estas funções foram realizadas no módulo de geração e otimização da trajetória e ocorrem de maneira seqüencial.

O módulo de controle motor trabalha em paralelo aos demais módulos. A partir da trajetória obtida no módulo anterior, são gerados o ângulo das rodas e a velocidade do veículo, que se converterão em uma futura ação de controle. O módulo da interface de saída é executado de maneira independente. A cada ciclo, a informação gerada pelo controle visual e motor é recolhida para gerar a ação de controle que é enviada aos atuadores.

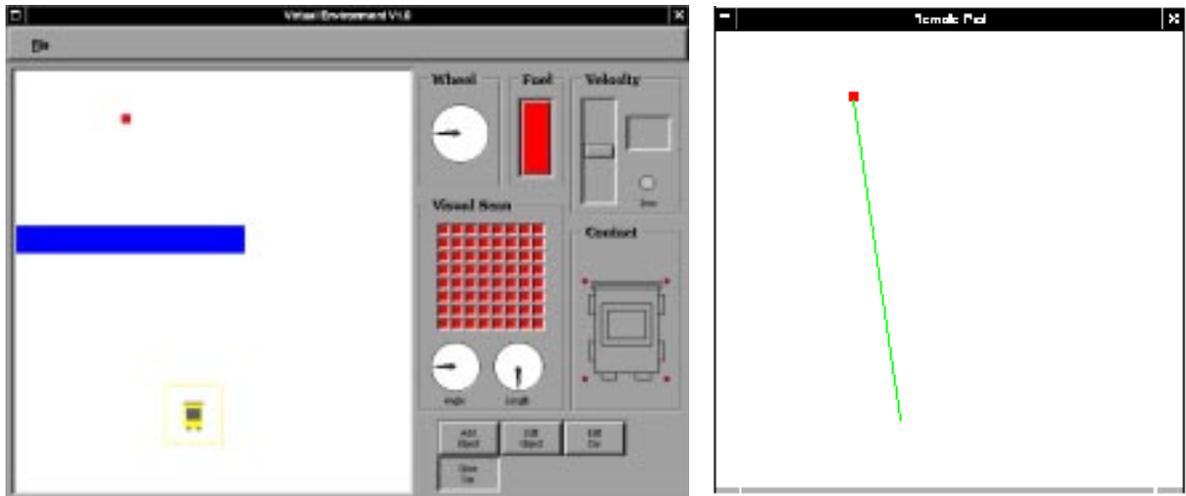
Dos módulos explicados anteriormente, podemos dizer que existem quatro seções da rede executando em paralelo:

- Controle visual e percepção
- Geração de pontos e arcos e geração e otimização da trajetória
- Geração do controle motor a partir da trajetória
- Geração da ação de controle e seu envio aos atuadores

5.4.1.9.- Resultados

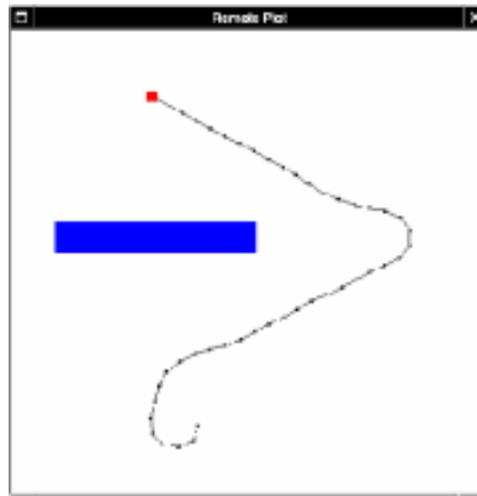
Nesta seção, colocamos os resultados obtidos das simulações realizadas para o controle do veículo autônomo. As Figuras 5.24 (a), 5.25 (a), 5.26 (a) apresentam os testes realizados no trabalho. Foram realizados diferentes casos, onde os obstáculos colocados para cada um apresentam uma dureza “1”, gosto “-1” e diferentes cores.

Em cada uns dos casos podemos observar que inicialmente o veículo não tem conhecimento dos obstáculos do ambiente e traça um plano que une a posição inicial do veículo à meta Figuras 5.24 (b), 5.25 (b), 5.26 (b). Quando o veículo começa a percorrer esse plano pode ocorrer que o agente em SIR focalize um obstáculo, e assim o sistema de controle determine uma nova trajetória a ser percorrida pelo veículo. Este processo ocorre até que o veículo consiga chegar até a meta predeterminada pelo usuário. Na Figuras 5.24 (c), 5.25 (c), 5.26 (c) podem ser observadas as trajetórias finais percorridas pelo veículo. Nos casos das Figuras 5.24 (a) e 5.25 (a), o veículo está numa posição oposta à meta, o qual conduz a que tenha que fazer uma manobra para chegar a esta. A trajetória obtida em todos os casos não está otimizada, pois o objetivo é que o veículo chegue até a meta sem bater com objetos do ambiente.



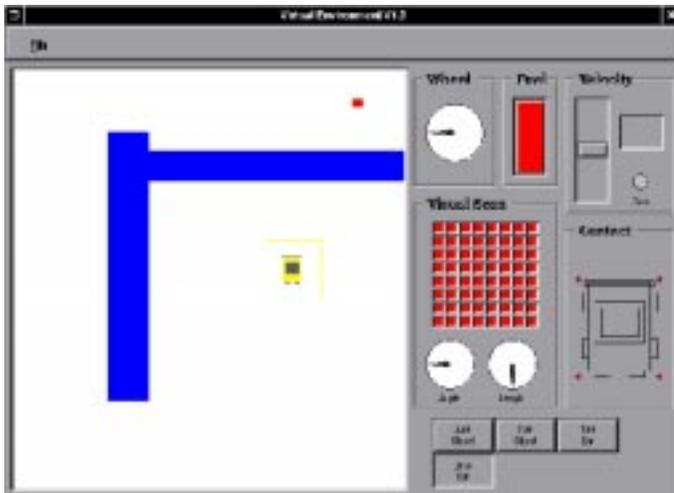
(a)

(b)

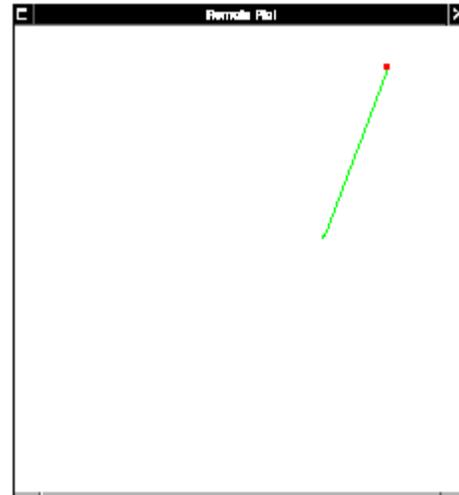


(c)

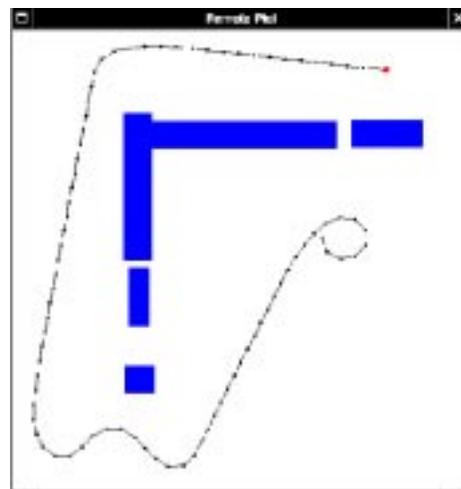
Figura 5.24. Simulação da navegação do veículo autônomo - Variante A. (a) veículo e objeto no ambiente antes do início da simulação – (b) primeiro plano gerado - (c) resultado da trajetória seguida pelo veículo até chegar à meta.



(a)

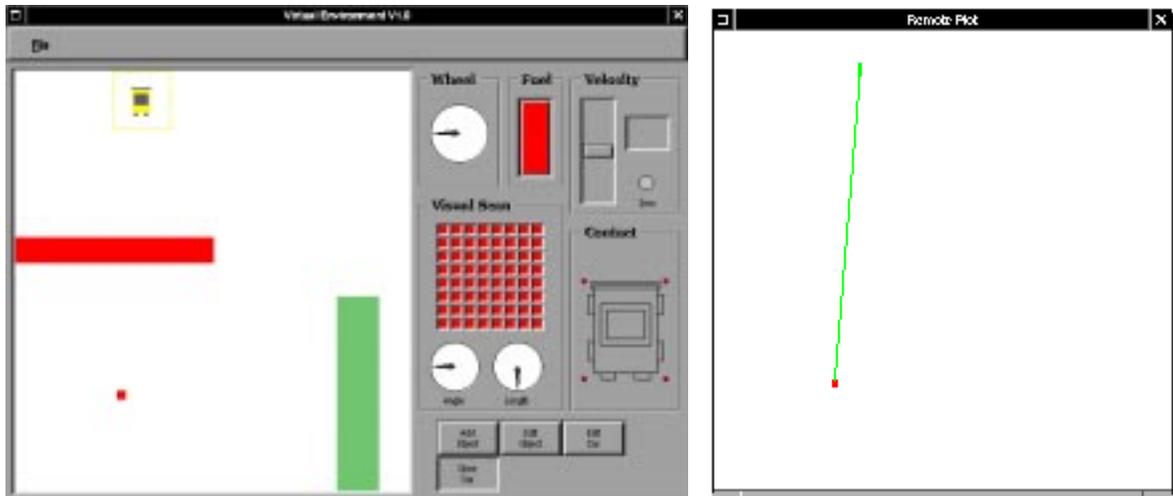


(b)



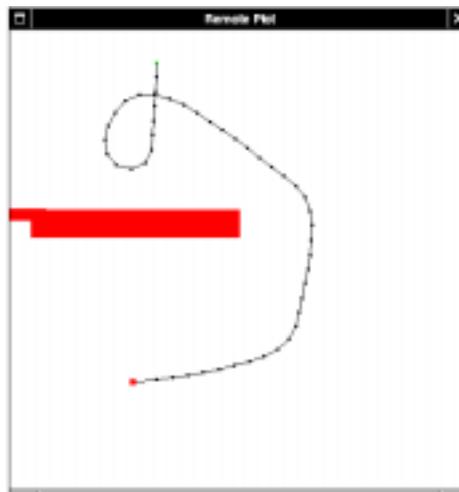
(c)

Figura 5.25. Simulação da navegação do veículo autônomo - Variante B. (a) veículo e objetos no ambiente antes do início da simulação - (b) primeiro plano gerado - (c) resultado da trajetória seguida pelo veículo até chegar à meta.



(a)

(b)



(c)

Figura 5.26. Simulação da navegação do veículo autônomo - Variante C. (a) veículo e objetos no ambiente antes do início da simulação - (b) primeiro plano gerado - (c) resultado da trajetória seguida pelo veículo até chegar à meta.

Finalmente, podemos observar que, em todos os testes apresentados, o veículo consegue chegar de maneira satisfatória até a meta, Figuras 5.24 (c), 5.25 (c), 5.26 (c). O mecanismo de visão do veículo permite iterativamente que seja identificada uma grande quantidade de

objetos do ambiente, permitindo assim, que seja gerada uma trajetória adequada para o percurso do veículo.

5.5.- Influência do Conhecimento Sensorial no Controle do Veículo Autônomo

Nesta seção, fazemos uma análise da influência do conhecimento sensorial no controle do veículo autônomo. Mais especificamente, realizamos um estudo da influência deste em cada um dos módulos da rede.

O conhecimento sensorial na Rede de Agentes da Figura 5.5 aparece inicialmente no Módulo da Interface de Entrada (MIE). Neste módulo, apresenta-se como um pacote de diferentes tipos de informações, provenientes especificamente dos sensores de contato, do sensor de informação remota (SIR), da posição do veículo e da meta. Estes conhecimentos são utilizados de maneira separada pelos diferentes módulos da rede.

No caso do Módulo de Percepção e Modelagem do Ambiente (MPMA), este conhecimento é indispensável para determinar os objetos do ambiente. Para este caso, o conhecimento constitui-se de uma matriz de (8 x 8) elementos, que contém valores que nos permitem diferenciar os objetos por suas cores. Esta informação é obtida do sensor de informação remota, que tenta localizar e focalizar os objetos do ambiente, para determinar uma trajetória adequada para a movimentação do veículo. Neste módulo o conhecimento sensorial é transformado em um conhecimento mais sofisticado, formado pelos objetos do ambiente.

No Módulo de Geração de Pontos e Arcos (MGPA) o conhecimento sensorial é utilizado para codificar os valores da posição do veículo e a meta, sendo utilizados para a geração de novos pontos e a seguir arcos que serão utilizados no módulo seguinte. Como podemos observar, o conhecimento recebido neste módulo (formado por pontos) é transformado em um conhecimento mais sofisticado (formado por arcos).

O Módulo de Geração e Otimização da Trajetória (MGOT), não está influenciado diretamente pelo conhecimento sensorial proveniente dos sensores. Este recebe as informações processadas do Módulo de (MGPA) e (MPMA), para a criação e otimização da trajetória. Utiliza portanto, conhecimentos de objetos, originados ao longo da rede a partir dos conhecimentos sensoriais.

O Módulo de Controle Visual (MCV) recebe o conhecimento sensorial proveniente do sensor de informação remota, especificamente a informação da distância do centro do veículo ao sensor de informação remota (ρ) e o ângulo formado entre o eixo longitudinal do veículo e o sensor de informação remota (φ). Este tipo de conhecimento nos proporciona a informação da focalização dos objetos do ambiente, aspecto de vital importância para o reconhecimento dos objetos no Módulo de Percepção e Modelagem do Ambiente. O conhecimento sensorial recebido neste módulo apresenta a peculiaridade de ser transformado em um objeto que também representa um conhecimento sensorial. Isto é, são recebidos neste módulo valores de ρ e φ e na saída obtemos outros novos valores destas mesmas variáveis.

Como pode ser observado nos módulos acima, sem a presença do conhecimento sensorial, seria impossível realizar um controle adequado do veículo. Por meio deste conhecimento iterativamente se constroem unidades de conhecimento de tipos mais sofisticados que representam os obstáculos do ambiente, os pontos e arcos que gerarão os planos, além de outros conhecimentos auxiliares. Ao final, esses planos são novamente convertidos para conhecimentos sensoriais, de modo que possam ser enviados aos atuadores. Assim, podemos dizer que todo conhecimento mais sofisticado que seja manipulado pelo sistema tem origem em conhecimentos sensoriais, e acabam por gerar conhecimentos sensoriais, para que possam ser enviados aos atuadores do sistema. Uma compreensão adequada dos diferentes tipos de conhecimentos sensoriais é portanto fundamental para o desenvolvimento de sistemas inteligentes como o sistema ilustrado neste capítulo.

5.6.- Resumo

Neste capítulo foi desenvolvido um exemplo de aplicação, baseado no controle de um veículo autônomo, utilizando Redes de Agentes e implementado no ONtoolkit. Esta implementação foi desenvolvida com o propósito de se evidenciar a importância do conhecimento sensorial no controle do veículo. Posteriormente, foi realizada uma análise da influência deste tipo de conhecimento no desenvolvimento dos diferentes módulos da rede.

O controle do veículo autônomo utiliza as mesmas estratégias de controle utilizadas por Gudwin, mas desta vez utilizando uma Rede de Agentes ao invés de uma Rede de Objetos. A conversão da rede de objetos utilizada por Gudwin [Gudwin 1996] para uma Rede de Agentes exigiu uma série de adaptações na estrutura da rede, pois devido ao seu caráter autônomo e descentralizado diversos lugares auxiliares tiveram de ser criados de forma a proporcionar o sincronismo entre os diferentes módulos da rede.

Capítulo 6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, procuramos contribuir com o estudo da Semiótica Computacional, por meio do aprofundamento do estudo sobre o conhecimento sensorial. Como apresentamos nos capítulos anteriores, o estudo do conhecimento sensorial coloca-se como da maior importância, por ser o pilar sobre o qual todos os outros tipos de conhecimentos podem ser construídos. Entender e modelar o conhecimento sensorial, em todas as suas variações e matizes, é portanto uma condição fundamental para que os estudos da semiótica computacional possam se desenvolver, compreendendo os tipos mais elaborados de conhecimento e os mecanismos que permitem a transformação entre diferentes tipos de conhecimentos. Sendo assim, podemos compreender e situar a presente dissertação como um tijolo a mais sendo assentado de modo a consolidar a semiótica computacional enquanto ciência. Esse esforço não é fortuito, mas visa colaborar para que a meta básica da semiótica computacional, ou seja, a criação de uma teoria formal para os sistemas inteligentes, possa se concretizar.

Para justificar essa meta, tivemos que apresentar elementos da semiótica e da semiótica computacional, assim como elementos de propostas alternativas, de modo que a importância do estudo do conhecimento sensorial ficasse devidamente evidenciada, bem como a ausência de estudos similares na literatura, o que por si só justificaria o investimento aqui empregado.

Uma vez justificada a demanda por estudos sobre o comportamento semiótico dos conhecimentos sensoriais, tentamos realizar um aprofundamento na análise da questão. Especificamente, propusemos e analisamos uma classificação de tipos de sensores que nos permitiu determinar as diversas maneiras pelas quais este conhecimento se manifesta.

Inicialmente, apresentamos uma definição semiótica de Sensor para depois analisar como este dispositivo se comporta segundo os elementos da Semiótica Peirceana. A partir desta análise, conseguimos observar a importância do sensor como produtor de signos, ou seja, como causador, no intérprete, de uma determinada interpretação dos fenômenos que

ocorrem no mundo, permitindo que um modelo para esses fenômenos possa ser criado e utilizado por uma mente pensante. Essa introspecção da realidade para o mundo interior do intérprete é ainda conforme as idéias mais atuais da filosofia da mente, que negam a possibilidade de obtermos uma compreensão exata (ou objetiva) da realidade, uma vez que os fenômenos não chegam nunca a serem representados na sua totalidade. Assim, utilizando um modelo de representação semiótico, não precisamos assumir uma realidade objetiva. A realidade que podemos modelar se limita àquela que é introduzida por meio do conhecimento sensorial. Toda e qualquer interpretação mais sofisticada do mundo, tais como a existência de objetos, que têm seus estados alterados, etc, ... , não passa de uma construção auxiliar de nossa mente para que nossa visão de mundo possa ser administrada de forma mais eficiente. Não precisamos admitir que objetos e relações entre objetos realmente existam no mundo real, mas apenas assumimos que este é um modelo conveniente para que manipulações mentais possam ser perpetradas de forma a resultar em um comportamento inteligente.

O desenvolvimento de um exemplo de aplicação baseado no controle do veículo autônomo, navegando por um ambiente composto por obstáculos e uma meta, tem por propósito ilustrar e exemplificar como este conhecimento sensorial pode ser transformado de maneira efetiva em um comportamento inteligente. Sua apresentação no contexto desta dissertação visa demonstrar como idéias de um conteúdo mais filosófico podem ser transformadas pragmaticamente em aplicações de engenharia, e demonstrar os ganhos que se pode obter por meio de sua consideração em um contexto mais tecnológico. A intenção deste exemplo foi portanto evidenciar a importância do conhecimento sensorial para um sistema de controle inteligente e como este poderia eventualmente aparecer e ser transformado em tipos mais sofisticados de conhecimentos, em cada uns dos módulos de um sistema de controle inteligente.

6.1.- Trabalhos Futuros

Como dissemos, temos a consciência de que este trabalho representa somente um tijolo assentado sobre uma construção maior que é a semiótica computacional. Assim, podemos ensejar uma série de trabalhos futuros onde outros tijolos precisarão ser acrescentados, de

modo que a semiótica computacional passe a ser realmente uma teoria dos sistemas inteligentes. De uma maneira geral, os seguintes pontos são de especial importância:

- Analisar tipos mais sofisticados de conhecimentos, e quais as suas relações com o conhecimento sensorial.
- Evidenciar os mecanismos de transformação de conhecimento que permitem que tipos mais sofisticados de conhecimentos sejam construídos.
- Efetuar um estudo mais detalhado sobre os sensores móveis, e o impacto desta mobilidade na qualidade da informação sensorial que pode ser obtida a partir de suas características. Vale a pena observar, neste caso, que os sensores móveis implementam uma espécie de fecho semiótico, pois demandam a criação de ciclos de sensoriamento e atuação, de maneira íntima e interdependente. Somente este tópico demandaria talvez um estudo estendido.
- Estudar a conexão entre os diferentes tipos de conhecimentos sensoriais levantados nesta dissertação e possíveis maneiras de representá-los por meio de redes de agentes. Apesar de algumas dessas representações serem óbvias, pode haver situações em que uma representação pode ser mais adequada do que outra, por motivos computacionais, o que demandaria um estudo dedicado a este tema.
- Analisar a questão da fusão sensorial, ou seja, como transformar conhecimentos sensoriais de um determinado tipo, em algum tipo de conhecimento sensorial mais sofisticado, que implemente a fusão das informações obtidas nos sensores, e como interpretar essa questão da fusão sensorial do ponto de vista semiótico.
- Com relação ao desenvolvimento do controle do veículo autônomo, podemos ainda tentar criar estratégias alternativas de controle, onde um conhecimento sensorial especial, chamado de conhecimento *emocional* seja empregado. O conhecimento emocional é aquele que efetivamente propõe avaliações-padrão dos sinais sensoriais obtidos dos sensores, com relação aos objetivos do sistema. Podemos compará-lo ao conhecimento fornecido por um sensor virtual, que presumidamente fosse capaz de medir quanto um determinado objetivo do sistema está sendo atingido.
- Eventualmente um estudo mais acurado tendo como motivação essa idéia de conhecimento sensorial emocional seria também um possível trabalho futuro.

Por fim, desejaríamos concluir esta dissertação enfatizando que a natureza é um rico difusor de idéias, e que muitas vezes é necessário que enxerguemos além do óbvio, para que esse óbvio mostre toda sua riqueza e complexidade escondida. A semiótica, com sua proposta de ser uma meta-ciência, muitas vezes nos proporciona esse conjunto de lentes, por meio das quais podemos analisar cada fenômeno, cada área de estudos, e efetivamente enxergar esse rico mundo que muitas vezes passa despercebido a nossos olhos.

Fica aqui pois este convite. Redescubramos o óbvio. Mas não somente em seu caráter de óbvio, mas principalmente a riqueza e a complexidade que se esconde sobre a familiaridade que pensamos deter junto a conceitos tais como sensores e conhecimentos sensoriais. Assim como nesta dissertação analisamos um tema que na aparência poderíamos erroneamente reputar por simples, e mostramos como este pode ser complexo, sob certos aspectos, estendemos aqui este convite. Usemos as lentes da semiótica para analisar outros fenômenos da natureza. E veremos, com certeza, um novo mundo se descortinar frente a nossos olhos.

Anexo A. Aspectos gerais da Semiótica Peirceana

A.1.- Introdução

Neste anexo, apresentamos um panorama geral da “**Semiótica**”, uma teoria filosófica desenvolvida no século XIX pelo filósofo norte-americano *Charles S. Peirce*, e que é tratada de maneira implícita em 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 desconhecendo-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 é utilizada a Semiótica desenvolvida por Peirce [Peirce 1995].

A origem da Semiótica de Peirce foi baseada na lógica, filosofia e a 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 estrutura sua arquitetura da Filosofia da seguinte maneira:

1. Fenomenologia
2. Ciências Normativas:
 - Estética
 - Ética
 - Semiótica

3. Metafísica

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 1995, 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.

A.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 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 1995]. 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 a seguir:

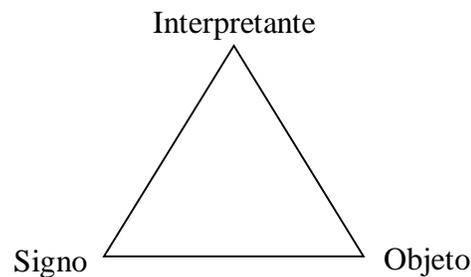


Figura A.1. Representação da relação triádica da semiótica *peirceana*.

A.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 sob o ponto de vista de como este é apresentado no 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.

A.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” 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, os quais estão 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 os interpretantes dinâmicos tendem. Sendo considerado como um interpretante em abstrato. É como uma fronteira ideal, para onde os interpretantes dinâmicos tendem a caminhar.

Segundo Peirce esta tríade corresponde ponto a ponto com as três categorias da experiência, onde o interpretante imediato corresponde a 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 é aquilo a cuja direção o real tende, sendo um limite ideal e abstrato, não dependendo este do dinâmico efetivo. Supondo que infinitos signos fossem utilizados para conduzir todas as informações sobre um objeto dinâmico, o resultado dessas 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.

A.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.

A.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). 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.

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].

A.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, portanto, 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.

A.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, 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 ocorre 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].

A.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 pode atuar então como um novo signo, produzindo uma cadeia de interpretações que costumamos chamar de pensamento. Esse processo pode ser observado na figura a seguir:

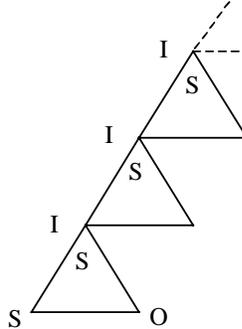


Figura A.2. Diagrama representativo do processo de semiose.

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 A.2.

A Figura A.2, pode ser lida como: o interpretante de um signo associado a um objeto transforma-se por sua vez em um novo signo, que remete a outro objeto em um processo que determina um novo interpretante; e assim até o infinito.

Vejamos o conceito de Semiose 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”.

A.5.- Tricotomias² dos Signos

Peirce em seu esforço por classificar e compreender os diferentes tipos de signos, propôs a existência de dez tricotomias² e sessenta e seis classes de signos [Peirce 1995]. 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.

A.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 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 uma qualidade, 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

² Tricotomia: tradução para o português, adotada por diferentes tradutores, do termo *trichotomy*, utilizado por Peirce para definir um conjunto formado por três elementos (tríades). Outras interpretações deste termo em português poderiam ser desconsideradas.

“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.

A.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.

A.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 a João porque faz tudo para ele**.

A tabela A.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 A.1. Representação das três tricotomias e sua correspondência com as três categorias da experiência.

A.6.- Classes de signos

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].

No	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 informação desse objeto fotografado/mapas/chuva/marcas de fogo.
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

No	Tipos de Signos	Caracteres	Exemplos
			demonstrativo/ texto descritivo indicial.
7)	Legisigno indicial dicente	Regra-Existente-Real (lei-indicador-real)	Códigos do 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 A.2. Dez classes de signos. Exemplos.

Se observarmos estas dez classes de signos pelo lado do interpretante, podem ser diferenciadas seis classes caracterizadas pela abdução (1, 2, 3, 5, 6 e 8), três pela indução (4, 7 e 9) e uma pela dedução (10) [Souza 1998]. As seis classes de signos caracterizados pela abdução podem ser reinterpretadas, sob o ponto de vista do mecanismo de abdução, em termos de funções proposicionais: aberta, singular e formal [Shank & Cunningham1994].

A.7.- Resumo

Neste capítulo foram apresentadas as idéias fundamentais da Semiótica, uma teoria desenvolvida por Peirce que cuida dos aspectos da significação e da representação. Foi

realizado um pequeno resumo da arquitetura de sua filosofia, destacando na fenomenologia, a criação das três categorias mais universais da experiência.

Apresentou-se uma visão geral da Semiótica *Peirceana*, destacando-se dentro dela o conceito de “Signo”, como sendo a 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 dos fenômenos de representação.

Outro aspecto importante destacado foi a descrição do fenômeno de “Semiose”, o qual 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.

Referências Bibliográficas

- [Albus 1991] Albus, J. S. - Outline for a Theory of Intelligence - IEEE Transactions on System, Man, Cybernetics - Vol 21 - No.3 - May/June 1991 - pp. 473 - 481.
- [Albus & Meystel 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 & Meystel 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.
- [Anderson 1989] Anderson, J.R. - A Theory of the Origins of Human Knowledge - Artificial Intelligence 40 - 1989 - pp. 313 - 351.
- [Bastos 1998a] Bastos, T.F - Sensores de proximidad en Robótica - Reunión del Proyecto SISPER (Sistema de Percepción Modular y Reconfigurable para Robótica) - Maracaibo, Venezuela - 7 - 11 Septiembre 1998 - <http://www2.ele.ufes.br/~tfbastos>.
- [Bastos 1998b] Bastos, T.F.; Dynnikov, V. - Aplicación de Robots y Sensores en Manufactura - Tercer Congreso Internacional de Manufactura - Querétaro, México - 22 - 24 Octubre - 1998 - <http://www2.ele.ufes.br/~tfbastos>.
- [Benedict 1984] Benedict, R. P. - Fundamentals of temperature, pressure, and flow measurements - 1984.
- [Bezdek 1994] Bezdek, J.C. - What is Computational Intelligence - in Zurada, J.M, Marks II, R.J. and Robinson, C.J. (eds.) - Computational Intelligence - Imitating Life - IEEE Press - 1994 - pp. 1-12.
- [Brachman & Schmolze 1985] Brachman, R.J.; Schmolze, J.G. - An Overview of the KL-ONE Knowledge Representation System - Cognitive Science 9 - 1985 - pp. 171 - 216.
- [Braga 1989] Braga, N. C. - Tudo sobre multímetros - Vol 1 - 1989.

- [Chen & Trivedi 1995] Chen, C.X.; Trivedi, M.M. - Task Planning and Action Coordination in Integrated Sensor-Based Robots - IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Vol. 25 - No.4 - April 1995.
- [Deely 1990] Deely, J. - Semiótica Básica - 1990.
- [Eco 1976] Eco, U. - Tratado Geral de Semiótica - Coleção Estudos - 1976.
- [Fann 1970] Fann, K.T - Peirce's Theory of Abduction - Martinus Nijhoff - The Hague, 1970.
- [Franklin 1995] Franklin, S. - Artificial Minds - MIT Press - 1995 - 3rd edition, 1998.
- [Gardner 1983] Gardner, H. - Frames of Mind - The Theory of Multiple Intelligences - Basic Books - 1983, 2nd edition 1993.
- [Goleman 1995] Goleman, D. - Inteligencia Emocional - 1995.
- [Gomes 2000] Gomes, A. S. R. - Contribuições ao Estudo de Redes de Agentes - Tese de Mestrado- DCA-FEEC-UNICAMP - Junho 2000.
- [Göpel et.al. 1989] Göpel, W.; Hesse, J.; Zemel, J.N. - Sensors: a comprehensive survey - Vol 1 - pp. 2 -11.
- [Gonzalez & Woods 2000] Gonzalez, R. C; Woods R. - Processamento de imagens Digitais - 2000 - pp. 4 -14.
- [Gudwin 1996] Gudwin, R. R. - Contribuições ao Estudo Matemático de Sistemas Inteligentes - Ph.D thesis - DCA-FEEC-UNICAMP - Maio 1996.
- [Gudwin & Gomide 1997a] 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 1997b] 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 1997c] Gudwin, R.R.; Gomide, F.A.C. - An Approach to Computational Semiotics -ISAS'97 - Intelligent Systems and Semiotics - A Learning Perspective - International Conference - Gaithersburg, USA - 22 - 25 September 1997 - pp. 467- 470.
- [Gudwin & Gomide 1997d] Gudwin, R.R.; Gomide, F.A.C. - A Computational Semiotics Approach for Soft Computing - Proceedings IEEE International Conference on

- Systems, Man and Cybernetics - SMC'97 - Orlando, USA - 12-15 October 1997 - Vol. 4 - pp. 3981 - 3986.
- [Gudwin & Gomide 1998a] Gudwin, R.R.; Gomide, F.A.C - Object Networks - A Modelling Tool - Proceedings of FUZZ-IEEE98, WCCI'98 - IEEE World Congress on Computational Intelligence - Anchorage, Alaska - USA - 4-9 May 1998 - pp. 77 - 82.
- [Gudwin & Gomide 1998 b] 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 in Software Engineering - 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 1999a] - Gudwin, R.R. - Umwelts and Artificial Devices – A Reflection on the text of Claus Emeche: Does a robot have an Umwelt – 2do. Seminário Avançado de Comunicação e Semiótica - Novos Modelos de Representação: Vida Artificial e Inteligencia Artificial - São Paulo – CECCS/ PUC-SP - 18 a 20 de Agosto 1999.
- [Gudwin 1999b] - Gudwin, R.R. - From Semiotics to Computational Semiotics – Proceedings of the 9th International Congress of the German Society for Semiotic Studies/ 7th International Congress of the International Association for Semiotic Studies (IASS/AIS) - Dresden, Germany - 3 - 6, 7 - 11 October 1999.
- [Guerrero et.al. 1999] Guerrero, J.A. S.; Gomes, A.S.R; Gudwin, R.R - A Computational Tool to Model Intelligent Systems - Anais do 4o SBAI - Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente - São Paulo, Brasil - 8 - 10 September 1999 - pp. 227 - 232.
- [Guerrero 2000] Guerrero, J.A. S. - Rede de Agentes: Uma ferramenta para o projeto de sistemas inteligentes – Tese de Mestrado - DCA-FEEC-UNICAMP - Fevereiro 2000.
- [Jayant & Noll 1984] Jayant, N.S.; Noll, P. - Digital Coding of waveforms. Principles and Applications to speech and video - 1984 - pp. 1-3.
- [Jorna 1990] Jorna, R. - Knowledge Representation and Symbols in the Mind - Probleme der Semiotik - Stauffenburg Verlag - 1990.

- [Kocis & Figura 1996] Kocis S.; Figura, Z. - Ultrasonic measurements and technologies - 1996 - pp. 173 -189.
- [Laird et.al. 1987] Laird, J.E.; Newell, A.; Rosebloom, P.S. - SOAR: An Architecture for General Intelligence -Artificial Intelligence 33 - 1987 - pp. 1- 64.
- [Liszka 1996] Liszka, J. J. – A General Introduction to the Semiotic of Charles Sanders Peirce – Indiana University Press, 1996
- [Meystel 1995] Meystel, A.M. - Semiotic Modeling and Situation Analysis: An Introduction - Bala Cynwyd, AdRem Inc. 1995.
- [Meystel 1996] Meystel, A.M; - Intelligent Systems - A Semiotic Perspective – International Journal of Intelligent Control and System - Vol. 1 - No. 1 - 1996 - pp. 31 - 57.
- [Morris 1971] Morris, C.W. - Writings on the General Theory of Signs - The Hague: Mouton, 1971.
- [Netto 1980] Netto, C. T. - Semiótica, Informação e Comunicação - 1980.
- [Newell 1980] Newell, A. - Physical Symbol Systems - Cognitive Science 4 - 1980 - pp.135 -183.
- [Newell 1982] Newell, A. - The Knowledge Level - Artificial Intelligence 18 - 1982- pp. 87 -127.
- [Nöth 1995] Nöth, W. - Handbook of Semiotics - Indiana University Press - 1995.
- [Nöth 1998] Nöth, W. - De Platão a Peirce - 2ª edição revisada, 1998.
- [Peirce 1960] Peirce, C.S. - Collected Papers of Charles Sanders Peirce - 1960.
- [Peirce 1995] Peirce, Ch. S. - Semiótica - 1995 - pp. 32 - 35, 45 - 76, 167 - 169.
- [Pinto 1995] Pinto, J. - 1, 2, 3 da Semiótica - 1995 - pp. 13 - 16, 21, 41, 44, 47, 57.
- [Pospelov 1991] Pospelov, D. - Situational Control: Theory and Practice - Nauka Publishers - Moscow - 1986 - tradução não publicada do original em russo - 1991.
- [Russell & Norvig 1995] Russell, S.; Norvig, P. - Artificial Intelligence - A Modern Approach - Prentice Hall Series in Artificial Intelligence - 1995.
- [Santaella 1983] Santaella, L. - O que é a Semiótica – 1983 - pp. 7 - 31, 35 - 54, 61 - 69.
- [Santaella 1992] Santaella, L. - A assinatura das coisas, Peirce e a Literatura - 1992 - pp. 43 - 52.

- [Santaella 1995] Santaella, L. - A teoria geral dos signos, Semiose e Autogeração - 1995 - pp. 11, 15 - 19, 47 - 66, 83 - 108, 117 - 179.
- [Santaella 1998] Santaella, L. - A Percepção - uma teoria semiótica - 1998 - pp.33 - 52.
- [Shank & Cunningham 1994] Shank, G.; Cunningham, D.J. - Modeling the six modes de Peircean Abduction for Educational Purposes
<http://www.cs.indiana.edu/event/maics96/Proceedings/shank.html>.
- [Simon et.al. 2000] Simon, A.; Söhnitz, I.; Becker, J.C.; Schumacher, W. - Navigation and control of an autonomous vehicle. Proceedings 9th IFAC Symposium Control in Transportation Systems 2000 - Braunschweig, Germany - Vol 2 - June 13 - 15 2000 - pp. 465 - 474.
- [Souza 1998] Souza Mario E. - De agentes racionais a agentes semióticos: um estudo sobre a aplicação da Semiótica na concepção de sistemas inteligentes – Tese de Mestrado. Campina Grande - Maio 1998 - pp. 52 - 53, 79 - 93.
- [Taylor & Kriegman 1998] Taylor, C.J.; Kriegman, D. - Vision-Based Motion Planning and Exploration algorithms for Mobile Robots - IEEE Transactions on Robotics and Automation - Vol. 14 - No 3 - June 1998.
- [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.

Índice Remissivo de Referências

Autor	Título	Referência em página
[Albus 1991]	Outline for a Theory of Intelligence.	2, 4, 5, 10, 11, 12, 16, 18, 52
[Albus & Meystel 1996]	A reference model architecture for design and implementation of intelligent control in large and complex systems.	2, 4, 5, 16
[Albus & Meystel 1997]	Behavior Generation in Intelligent System.	2, 4, 5, 10, 12, 16
[Albus 1997]	The NIST Real-time Control System (RCS): an approach to intelligent system research.	2, 4, 5, 10, 12, 16
[Anderson 1989]	A Theory of the Origins of Human Knowledge – Artificial Intelligence.	7
[Bastos 1998a]	Sensores de proximidad en Robótica.	68
[Bastos 1998b]	Aplicación de Robots y Sensores en Manufactura.	68
[Benedict 1984]	Fundamentals of temperature, pressure, and flow measurements.	66, 67
[Bezdek 1994]	What is Computational Intelligence.	9
[Brachman & Schmolze 1985]	An Overview of the KL-ONE Knowledge Representation	7

Autor	Título	Referência em página
	System.	
[Braga 1989]	Tudo sobre multímetros.	70
[Chen & Trivedi 1995]	Task Planning and Action Coordination in Integrated Sensor-Based Robots.	78
[Deely 1990]	Semiótica Básica.	2, 27, 120
[Eco 1976]	Tratado Geral de Semiótica – Coleção Estudos - 1976.	2, 23, 27
[Fann 1970]	Peirce's Theory of Abduction.	119
[Franklin 1995]	Artificial Minds.	9
[Gardner 1983]	Frames of Mind – The Theory of Multiple Intelligences.	1, 11
[Goleman 1995]	Inteligencia Emocional.	1
[Gomes 2000]	Contribuições ao estudo de Redes de Agentes.	48
[Göpel et.al. 1989]	Sensors: a comprehensive survey, Volume 1.	52
[Gonzalez & Woods 2000]	Processamento de imagens Digitais.	72, 76
[Gudwin 1996]	Contribuições ao Estudo Matemático de Sistemas Inteligentes.	2, 3, 4, 5, 6, 25, 27, 28, 29, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 51, 52, 78, 79, 80, 82, 87, 88, 91, 101, 110, 117
[Gudwin & Gomide 1997a]	Computational Semiotics: An Approach for the Study of Intelligent Systems- Part I: Foundations.	27, 49
[Gudwin & Gomide 1997b]	Computational Semiotics: An	27, 49

Autor	Título	Referência em página
	Approach for the Study of Intelligent Systems- Part II: Theory and Application.	
[Gudwin & Gomide 1997c]	An Approach to Computational Semiotics.	27, 40, 49
[Gudwin & Gomide 1997d]	A Computational Semiotics Approach for Soft Computing.	48, 78
[Gudwin & Gomide 1998a]	Object Networks – A Modelling Tool.	47, 48, 78
[Gudwin & Gomide 1998b]	Object Networks: A Formal Model to develop Intelligent Systems.	48, 78
[Gudwin & Gomide 1999]	Object Networks: A Computational Framework to Compute with words.	27, 48, 78
[Gudwin 1999a]	Umwelts and Artificial Devices – A Reflection on the text of Claus Emeche: Does a robot have an Umwelt.	32
[Gudwin 1999b]	From Semiotics to Computational Semiotics.	27, 28, 29, 31, 40, 46, 49
[Guerrero et. al.1999]	A Computational Tool to Model Intelligent Systems.	49, 78
[Guerrero 2000]	Rede de Agentes: Uma ferramenta para o projeto de sistemas inteligentes.	48, 49, 78
[Jayant & Noll 1984]	Digital Coding of waveforms. Principles and Applications to	64

Autor	Título	Referência em página
	speech and video.	
[Jorna 1990]	Knowledge Representation and Symbols in the Mind.	7
[Kocis & Figura 1996]	Ultrasonic measurements and technologies.	71, 73
[Laird et.al. 1987]	An Architecture for General Intelligence.	7
[Liszka 1996]	A General Introduction to the Semiotic of Charles Sanders Peirce.	118
[Meystel 1995]	Semiotic Modeling and Situation Analysis: An Introduction.	24
[Meystel 1996]	Intelligent Systems - A Semiotic Perspective.	2, 4, 10, 17, 20, 22, 23, 24, 26 52
[Morris 1971]	Writings on the General Theory of Signs.	24
[Netto 1980]	Semiótica, Informação e Comunicação.	2, 27
[Newell 1980]	Physical Symbol Systems.	7
[Newell 1982]	The Knowledge Level.	7
[Noth 1995]	Handbook of Semiotics.	2, 27
[Noth 1998]	De Platão a Peirce.	2, 27
[Peirce 1960]	Collected Papers of Charles Sanders Peirce.	2, 27, 55, 56, 123
[Peirce 1995]	Semiótica.	2, 27, 117, 119, 120, 126, 130
[Pinto 1995]	1,2,3 da Semiótica.	2, 27, 124
[Pospelov 1991]	Situational Control: Theory	18

Autor	Título	Referência em página
	and Practice.	
[Russell & Norvig 1995]	Artificial Intelligence – A Modern Approach – Prentice Hall Series in Artificial Intelligence.	7
[Santaella 1983]	O que é a Semiótica.	2, 27, 117, 118, 119, 123, 125
[Santaella 1992]	A assinatura das coisas-Peirce e a Literatura.	2, 27, 122
[Santaella 1995]	A teoria geral dos signos-Semiose e Autogeração.	2, 27, 55, 56, 120, 123, 127, 128
[Santaella 1998]	A Percepção – uma teoria semiótica.	2, 27, 118, 119
[Shank & Cunningham 1994]	Modeling the six modes de Peircean Abduction for Educational Purposes.	132
[Simon et.al. 2000]	Navigation and control of an autonomous vehicle.	78
[Souza 1998]	De agentes racionais a agentes semióticos: um estudo sobre a aplicação da Semiótica na concepção de sistemas inteligentes.	17, 23, 120, 132
[Taylor & Kriegman 1998]	Vision-Based Motion Planning and Exploration algorithms for Mobile Robots.	78

Autor	Título	Referência em página
[Verschure 1993]	Formal Minds and Biological Brains – AI and Edelman’s Extended Theory of Neuronal Group Selection.	7