

ANEXO AO

PROCESSO Nº. 249/94 - C.M.

VERA LÚCIA GUISELLI LOPES

**APRENDIZAGEM E RECONHECIMENTO DE
PADRÕES EM REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

MARÍLIA

1997



VERA LÚCIA GUISELLI LOPES

**APRENDIZAGEM E RECONHECIMENTO DE
PADRÕES EM REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS**

FFC

CLASS.: 1534

L 864a

TOMBO: *ten 868*

VERA LÚCIA GUISELLI LOPES

1410000868



**APRENDIZAGEM E RECONHECIMENTO DE
PADRÕES EM REDES NEURAS ARTIFICIAIS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Filosofia
e Ciências do Campus de Marília, Universidade
Estadual Paulista, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Educação (Linha de
Pesquisa: Comunicação, Informática e Educação).

Orientadora: Prof^a. Dr.^a Maria Eunice Quilici Gonzales



MARÍLIA

1997

7.868

Para Anselmo, Rafael e Flávio

Cujo incentivo foi muito importante para a realização
deste trabalho. Que me deram forças, apoio na hora certa
e, principalmente, compreenderam a minha ausência.



Agradecimentos

O meu agradecimento especial é dedicado à Prof^a. Dr^a. Maria Eunice Quilici Gonzales, pela oportunidade de me aceitar como orientanda e que durante esses anos de convivência, com paciência e dedicação, tornou possível a elaboração desta dissertação. Agradeço também por sua amizade, compreensão e incentivo.

Muitas pessoas, direta ou indiretamente, também colaboraram com a realização deste trabalho. Não citarei o nome de todos mas tenho a certeza que reconhecerão aqui a minha gratidão.

à minha tia Prof. Evanina Gomes Gamero, pelo apoio e pela revisão gramatical do texto;

aos professores, colegas de curso e dos grupos de estudos pela amizade e companherismo que me dedicaram nesses anos de convivência;

aos meus companheiros de trabalho da Universidade Estadual de Londrina e da Universidade Norte do Paraná pela amizade, compreensão e apoio;.

aos meus pais, que sempre me incentivaram e me ensinaram que a educação é essencial para a realização pessoal e profissional;

a toda a minha família e aos amigos que nunca me faltaram.

Como nós podemos reconhecer um círculo como um círculo, seja ele grande ou pequeno, esteja ele próximo ou distante; quer ele esteja, de fato, em um plano perpendicular a uma linha do olho que o encontra no centro e seja visto como um círculo, ou tenha alguma outra orientação e seja visto não como uma elipse? Como nós vemos rostos, animais e mapas em nuvens, ou nas manchas de um teste de Rorschach?

Norbert Wiener (In: Gardner, 1995, p.311)



SUMÁRIO

	Página
Resumo.....	9
INTRODUÇÃO.....	10
I - A ORIGEM DA CIÊNCIA COGNITIVA.	
Introdução.....	25
I.1 - As raízes da Ciência Cognitiva nos estudos Gregos.....	27
I.2 - O Racionalismo e sua influência na Ciência Cognitiva.....	31
I.3 - O Empirismo e suas heranças para a Ciência Cognitiva.....	35
I.4 - O Behaviorismo e sua influência na Ciência Cognitiva.....	39
I.5 - Os precursores modernos da Ciência Cognitiva.....	42
II - MODELOS COMPUTACIONAIS COMO INSTRUMENTOS EXPLICATIVOS DO MENTAL	
Introdução.....	51
II.1 - O nascimento oficial da Ciência Cognitiva.....	53
II.2 - Os pressupostos básicos da Ciência Cognitiva.....	57
II.3 - A técnica de modelagem.....	65
II.4 - A perspectiva funcionalista da mente.....	73
II.5 - As correntes funcionalistas da Ciência Cognitiva.....	76

III - REPRESENTAÇÃO MENTAL E APRENDIZAGEM

Introdução.....	83
III.1 - O estudo da percepção.....	85
III.2 - A percepção visual.....	89
III.3 - Representação mental.....	93
III.4 - Aprendizagem e formação de conceitos.....	97
III.5 - Aprendizagem no modelo conexionista.....	102

IV - RECONHECIMENTO DE PADRÕES EM REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

Introdução.....	110
IV.1 - Procedimento Efetivo.....	112
IV.2 - A base intuitiva da máquina de Turing.....	117
IV.3 - Definição formal da máquina de Turing.....	121
IV.4 - Modelos de redes neurais artificiais.....	128
IV.5 - Reconhecimento de padrões no modelo de Hopfield.....	135
IV.6 - Limites e alcance da Ciência Cognitiva.....	147
NOTAS FINAIS.....	157
BIBLIOGRAFIA.....	165
Abstract.....	174

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - O caráter multidisciplinar da Ciência Cognitiva.....	62
Figura 2 - Nova representação da multidisciplinaridade da Ciência Cognitiva.....	63
Figura 3 - Complementaridade do método dedutivo e estatístico.....	67
Figura 4 - Método computacional.....	71
Figura 5 - Um modelo de rede neural.....	130
Figura 6 - Uma taxonomia dos principais modelos de redes neurais que são utilizados como classificadores.....	131
Figura 7 - Representação de uma rede de Hopfield constituída por uma camada com seis unidades de processamento.....	136
Figura 8 - Algoritmo clássico da rede de Hopfield.....	137
Figura 9 - Exemplos de função não linear.....	138
Figura 10 - Função energia na rede de Hopfield.....	140
Figura 11 - Resultados obtidos com a implementação de uma rede neural com o algoritmo clássico de Hopfield.....	141
Figura 12 - Algoritmo de Hopfield com retropropagação.....	142
Figura 13 - Primeiro grupo de resultados obtidos na implementação da rede de Hopfield com retropropagação.....	143
Figura 14 - Segundo e terceiro grupo de resultados da implementação da rede de Hopfield com retropropagação.....	144
Figura 15 - Quarto e quinto grupo de resultados da implementação da rede de Hopfield com retropropagação.....	145

RESUMO

A questão tratada nesta dissertação diz respeito à utilidade dos modelos de redes neurais artificiais no estudo das funções mentais envolvidas na aprendizagem e reconhecimento de padrões. Inicialmente, as origens dos modelos computacionais elaborados por pesquisadores da Ciência Cognitiva e os pressupostos básicos dessa nova ciência são investigados. Pela constatação de que os primeiros estudos sistemáticos sobre o conhecimento foram realizados pelos gregos, destaca-se a filosofia grega, considerada como geradora das raízes mais remotas da Ciência Cognitiva. Pela influência no destino da nova Ciência na atualidade, destacam-se as correntes racionalista e empirista, bem como elementos do movimento behaviorista. Finalmente apresentam-se algumas hipóteses mecanicistas dos precursores modernos da Ciência Cognitiva, cujos estudos possibilitaram o desenvolvimento da Cibernética e dos computadores. Como principais representantes da criação e desenvolvimento tecnológico dos computadores, aparecem os trabalhos de Alan Turing, Claude Shannon, Norbert Wiener, John von Neumann, Warren McCulloch e Walter Pitts. Desses trabalhos, surgiram também as primeiras noções de que seria possível testar teorias sobre o conhecimento humano através de modelos mecânicos. Em paralelo ao desenvolvimento dos computadores, identificam-se os pressupostos básicos da Ciência Cognitiva e suas principais linhas de pesquisa. Os níveis de abstração subjacentes aos modelos computacionais cognitivos, que adotam a tese funcionalista da mente e que defendem a existência de representações mentais, são também discutidos.

A partir da identificação dos princípios básicos da Ciência Cognitiva, alguns mecanismos envolvidos na percepção visual e nos processos de aprendizagem de conceitos são investigados. A dificuldade de simular os processos mentais em máquinas com processamento sequencial traz a necessidade de analisar as diferenças entre a máquina de Turing e os modelos de Redes Neurais. Neste sentido, são apresentadas a base intuitiva e a definição formal da máquina de Turing com processamento serial. A seguir, apresenta-se um modelo de *redes neurais* artificiais com processamento de informação distribuído em paralelo, investigando-se o mecanismo de aprendizagem no modelo de Hopfield. Após análise e conceitualização de um modelo, desenvolve-se um exemplo prático com a construção de um modelo de *rede neural* artificial com a finalidade de ilustrar técnicas utilizadas na investigação de hipóteses concernentes ao processo de aprendizagem. Algumas das principais críticas ao programa da Ciência Cognitiva são também discutidas, enfatizando-se, entretanto, nas notas finais, a relevância e a importância dos modelos de *redes neurais* artificiais na investigação dos mecanismos de aprendizagem.

INTRODUÇÃO

Os seres humanos parecem ser superiores às espécies conhecidas e aos computadores, na realização de tarefas cognitivas. A capacidade de estabelecer planos, elaborar estratégias, resolver problemas, fazer ciência e modificar o mundo são exemplos de situações em que demonstramos algumas de nossas capacidades mentais.

O comportamento inteligente parece estar ligado à capacidade de interagir com o mundo físico, ao poder da linguagem e da comunicação, à criatividade, às experiências que possibilitam a aquisição do conhecimento. Mas quais são as estruturas básicas necessárias à aquisição do conhecimento?

Há aproximadamente trinta anos, a Ciência Cognitiva tenta desvendar as estruturas básicas dos estados mentais inteligentes com pesquisas de alta qualidade, num esforço multidisciplinar, devido à sua abrangência. Esta nova ciência comporta um estudo neurocomputacional do comportamento, com o auxílio de meios científicos e tecnológicos para estudar e comprovar as suas teorias sobre representações mentais, percepção, aprendizagem, memória e outras capacidades da mente.

Os cientistas cognitivos atuais procuram entender como o ser humano adquire conhecimento e as condições necessárias à sua aquisição. Eles também investigam as bases do conhecimento, focalizando os mecanismos de manipulação de símbolos, como formas, imagens, conceitos e representações mentais em geral. Nestas investigações, estudiosos da cognição recorrem aos



métodos empíricos no teste de suas hipóteses e teorias, usando, assim, os avanços científicos e tecnológicos de várias áreas de estudo. O computador digital é utilizado na modelagem e simulação do funcionamento da mente humana.

Pesquisadores da Ciência Cognitiva supõem também que se um comportamento ou processo de pensamento for descrito com precisão, pode-se programar um computador para operar de forma semelhante, isto é, que simule tal processo de pensamento. O sucesso do programa computacional depende da precisão e plausibilidade das hipóteses. Apesar dessa suposição ser polêmica, cientistas cognitivos têm argumentado que a elaboração de modelos computacionais pode ter valor prático no teste da precisão das hipóteses sobre o funcionamento da mente.

A inspiração inicial para os cientistas cognitivos testarem suas hipóteses em computadores através de modelos computacionais surgiu com o trabalho desenvolvido pelo matemático inglês Alan M. Turing. Em 1936, ele desenvolveu a noção de uma máquina simples que podia, em princípio, executar cálculos bastante complexos. Turing definiu as noções básicas de máquina digital teórica, a qual, através de operações simples, poderia executar algumas funções consideradas inteligentes, quando realizadas por seres humanos.

A sugestão da máquina de Turing foi muito importante para o desenvolvimento de computadores digitais. Turing demonstrou a possibilidade da esquematização e execução de um número infinito de programas em máquinas digitais.

Em 1950, em seu artigo *Computadores e Inteligência* (In:



Esptein, 1973), Turing admitiu a hipótese de que seria possível construir máquinas que, no futuro, poderiam competir com o ser humano no campo intelectual. E deixou no ar a instigadora pergunta: *Podem as máquinas pensar?*

A partir do trabalho de Turing, expandiu-se a idéia de que, sendo possível descrever o comportamento humano inteligente, seria também possível simular num computador o funcionamento mental subsequente a esse comportamento e que, além disso, seria possível construir máquinas operando com base nesses princípios. O desenvolvimento tecnológico permitiu aos cognitivistas a realização da simulação dos comportamentos cognitivos expressos em habilidades como discurso inteligente, concepção de planos e outros.

Tais habilidades, segundo alguns filósofos e psicólogos da corrente funcionalista da mente (a ser caracterizada no capítulo II), podem ser entendidas em termos de elementos estruturais da mente que envolvem considerações sobre fatores básicos presentes na recuperação de elementos da informação na memória. Os funcionalistas julgam que ocorre nesses processos a formação de esquemas ou estruturação do pensamento antes da manifestação externa do comportamento. Consideram também que esses processos envolvem mecanismos de manipulação da informação, em seus vários aspectos, influenciando-os.

O ser humano executa a interação entre dados informacionais de forma rápida e natural, buscando adaptar-se ao meio e gerando os estados intencionais, que podem ser entendidos como a capacidade dos seres vivos de relacionarem os estados mentais a objetos existentes ou inexistentes. Os estados



mentais intencionais, na tese funcionalista, constituem a essência das representações mentais.

As questões da natureza da intencionalidade e da representação mental para o procedimento cognitivo constituem os problemas mais tradicionais da Ciência Cognitiva.

O ponto de partida desta dissertação é a hipótese de trabalho - H1: os modelos de redes neurais podem simular alguns aspectos do funcionamento da mente humana, em particular aqueles envolvidos na formação e reconhecimento de padrões. Intrinsecamente ligada à H1 está a suposição H2: o processo de aprendizagem se dá através de mecanismos de formação e reconhecimento de padrões apropriados, que constituem as representações mentais.

H1 e H2 são hipóteses acerca de um assunto extremamente complexo, que atualmente é tratado de forma simplificada e está ainda em sua fase inicial de desenvolvimento. Consideramos também que H1 e H2 compartilham de dois dos pressupostos básicos da Ciência Cognitiva: (1) o estudo do conhecimento requer a investigação das capacidades representacional e computacional da mente; (2) os computadores são ferramentas auxiliares na investigação dos estados cognitivos (Gardner, 1995, p.20; Gonzales, 1991, p.95).

Nesta dissertação, tratamos o problema da natureza da representação mental, com enfoque central no reconhecimento de padrões, num modelo computacional do tipo rede neural sem estruturas representacionais previamente definidas. O problema envolve análise da estrutura da memória e dos



mecanismos necessários para classificação e posterior reconhecimento de padrões.

O estudo das representações mentais restringiu-se ao caráter significativo que elas podem adquirir em sua manifestação na percepção visual e no processo de aprendizagem.

Consideramos que o entendimento do funcionamento da mente, no processo de reconhecimento de padrões, pode auxiliar na compreensão das noções de representação e aprendizagem, numa perspectiva computacional. Esse estudo foi realizado no campo teórico, procurando entender como ocorre o processo de aprendizagem na tarefa de reconhecimento de padrões. Realizamos também um modelo prático simples, a rede de Hopfield, com o objetivo de ilustrar o processo associativo no mecanismo de aprendizagem.

Muitas questões sobre aprendizagem foram amplamente debatidas, pesquisadas e solucionadas nos últimos anos. Mas, por outro lado, apesar de aproximadamente trinta anos de existência da Ciência Cognitiva, ainda não temos uma resposta consensual para questões como: Quais são os estados mentais necessários à aprendizagem?

Os trabalhos atuais em Ciência Cognitiva podem ser divididos conforme o enfoque quanto à questão da representação mental. Adeptos da linha de pesquisa representacionista (que será definida no capítulo II) levam em consideração a existência dos estados mentais que representam e/ou codificam os estados do mundo. Estes seriam entidades abstratas que possuem uma estrutura e, no caso da percepção, realizam a intermediação da mente com o meio ambiente. Em contraste, adeptos do Eliminativismo, no domínio da percepção, não

consideram a necessidade de representações mentais na integração entre o organismo e o meio ambiente. Nesse grupo, pesquisadores desenvolvem uma abordagem neurológica ou comportamental dos estados cognitivos. São contrários à abordagem representacional da mente porque consideram existir uma relação direta (não mediada por representações mentais) entre o organismo e o meio ambiente.

A corrente connexionista se posiciona entre os eliminativistas e os representacionalistas. O Conexionismo é um ramo da Ciência Cognitiva que estuda, como os eliminativistas, as propriedades de sistemas dinâmicos com características inspiradas na arquitetura do cérebro humano.

Por outro lado, representacionalistas e connexionistas adotam a hipótese funcionalista da mente, considerando que os estados funcionais desempenham um papel relevante nas estruturas que caracterizam os sistemas inteligentes. O grupo representacionalista é formado por pesquisadores da Inteligência Artificial e por funcionalistas lógico-computacionais. O grupo connexionista é representado pelos funcionalistas neurocomputacionais.

Tanto a corrente lógico-computacional como a corrente neurocomputacional investigam o caráter funcional da mente, a estrutura do pensamento, com a finalidade de melhor entender o processo de cognição. Também sugerem, para nós, a base para a compreensão das diferenças entre seres humanos e computadores.

Para a corrente neurocomputacional, a diferença básica entre o ser humano e o computador tradicional, do tipo máquina de Turing (a ser

caracterizada no capítulo IV), está na arquitetura computacional da mente, que é mais adequada para trabalhar com os aspectos naturais do processamento da informação do que uma máquina digital. Pesquisadores cognitivos, adeptos da corrente neurocomputacional, tentam modelar artificialmente o pensamento, em *máquinas especiais* com estrutura inspirada no cérebro humano, através de modelos do tipo redes neurais.

Em contraste, a corrente lógico-computacional considera que a diferença, na arquitetura, entre seres humanos e computadores é irrelevante. As semelhanças entre máquinas e seres humanos estariam nos programas, esquemas de raciocínio presentes no fluxo do pensamento. Os pesquisadores dessa corrente simulam seus modelos em máquinas do tipo Turing, desenvolvendo expressivas linguagens de alto nível e poderosos programas para simular o pensamento inteligente.

Essas duas correntes do funcionalismo constituem linhas distintas de pesquisa do processo cognitivo. O processo de cognição é examinado em dois aspectos: (1) o microestrutural, também chamado nível *subsimbólico*; e (2) o macroestrutural, ou nível *simbólico*. No primeiro grupo predominam os modelos de redes neurais ou processamento em paralelo de informação distribuída. Nesses modelos, o processamento da informação é executado em unidades básicas, inspiradas nos neurônios, para os aspectos ou interações da informação, cada uma enviando sinais excitatórios ou inibitórios para outras unidades. Admite-se aqui que os elementos macroestruturais da cognição resultam de propriedades emergentes da microestrutura.

No segundo grupo, o processo de cognição é examinado nos mais altos níveis da estrutura do pensamento. Pesquisadores desenvolvem nesta área modelos que incorporam algoritmos com transições de estado para estado e simulam o caráter aparentemente sequencial do pensamento. Nos modelos que simulam a macroestrutura do pensamento, cada informação adicional pode implicar maior tempo no processamento da informação. O número de interações necessárias nessa simulação pode levar a explosões computacionais, isto é, à necessidade de enorme quantidade de memória, o que impediria a realização do modelo devido às limitações físicas da máquina.

A diferença de abordagem entre estas linhas de pesquisas é grande. No funcionalismo lógico-computacional os processos mentais são investigados como computações abstratas, independente de suas realizações físicas e do meio ambiente. Eles podem, inclusive, ser concebidos de maneira predeterminada.

Por outro lado, estudiosos da corrente funcionalista neurocomputacional ou connexionista enfatizam a relevância dos aspectos físicos e neurofisiológicos no estudo e na compreensão dos processos mentais. Para eles, as representações mentais são estruturas emergentes da ativação de unidades *neurônio-símile* que são básicas no processamento da informação. Essas estruturas combinam-se através de leis físicas e de mecanismos de aprendizagem que lhes permitem auto-organizarem-se em função da experiência das informações do meio ambiente. Os pesquisadores connexionistas sugerem um estudo dos níveis de organização mental a partir de suas bases físico-

informacionais. Nessa abordagem predomina a idéia de que a base das representações possíveis é constituída por conteúdos mentais pré-representacionais ou pré-conceituais. A natureza intencional desse tipo de pensamento básico é dada por fatores contextuais que compõem circunstâncias da ocorrência desses pensamentos.

A presente dissertação, como a grande maioria dos trabalhos desenvolvidos atualmente no domínio da Ciência Cognitiva, parte da suposição que o estudo do conhecimento requer investigação das capacidades representacional e computacional da mente (Gonzales, 1991, p. 95). Dessa forma, apesar de computadores e seres humanos possuírem arquiteturas diferentes, pesquisadores cognitivos consideraram que ambos possuem sistemas de informações cujas operações podem ser estudadas por suas organizações funcionais. Assim, os computadores servem como instrumentos para investigação de alguns aspectos do funcionamento da mente.

Posicionamos o nosso trabalho na corrente neurocomputacional onde prevalecem os modelos de redes neurais artificiais, porque consideramos que esses modelos oferecem alternativas para o entendimento da microestrutura da aprendizagem e cognição. O nosso enfoque central será no nível subsimbólico do pensamento, entendendo o aspecto macroestrutural como sendo emergente do microestrutural.

Cientes das dificuldades, nosso estudo do problema da estrutura básica representacional dos padrões visuais foi desenvolvido sob uma perspectiva teórica. Apresentamos também um exemplo prático da utilização de modelo



computacional de redes neurais para investigar mecanismos de aprendizagem. O modelo prático foi desenvolvido com padrões simples porque o principal objetivo desse trabalho foi a investigação teórica de como o processo de aprendizagem ocorre no reconhecimento de padrões visuais e quais são as estruturas básicas criadas para permitir o reconhecimento destes padrões. O modelo não foi desenvolvido para apresentar técnicas computacionais ou novas concepções computacionais. Tem apenas o objetivo de ilustrar o processo de aprendizagem em modelos de redes neurais artificiais.

Devido à grande variedade de modelos de redes neurais e diferentes concepções do processo de aprendizagem, desenvolvemos o nosso trabalho tomando como base o modelo de Hopfield, com aprendizagem supervisionada, por entendermos que a sua estrutura permitiria uma compreensão de como são construídas as estruturas básicas para o reconhecimento de padrões visuais. Nesse modelo, consideramos também aspectos relacionados à generalização e recuperação de padrões quando a informação de entrada se apresenta de forma diferente dos padrões treinados.

A partir desse modelo, realizamos um exame dos procedimentos e das propriedades emergentes das unidades da microestrutura. Analisamos a coerência e a eficiência dos seus mecanismos de aprendizagem que possibilitam à rede neural aprender a reconhecer padrões.

Para completar o estudo, avaliamos a eficácia da aprendizagem no modelo conexionista, verificando as dificuldades e distorções que podem ocorrer na tarefa de reconhecer padrões afetados por ruídos. Além disso, o estudo



de um modelo possibilitou a verificação das limitações do sistema na formação de novas estruturas, através do exame do resultado de novos estímulos de entrada para a rede e de como esta seleciona os elementos compatíveis com os esquemas já adquiridos.

O trabalho foi realizado em quatro etapas. Na primeira etapa, a preocupação foi entender as primeiras tentativas de estudo sistemático dos estados cognitivos em geral, entender, em particular, como é possível a intermediação do nosso mundo mental com o mundo exterior através das representações. Procuramos também identificar as principais influências desses estudos no desenvolvimento da Ciência Cognitiva.

Na segunda etapa, a preocupação central foi verificar as origens dos pressupostos básicos da Ciência Cognitiva, com enfoque central na inspiração computacional e representacional da mente. Verificamos alguns dos trabalhos que marcaram o desenvolvimento da Cibernética, a construção dos computadores e outros que, juntos, proporcionaram o aparecimento de uma ciência da mente.

Após o posicionamento dos conceitos básicos dessa nova Ciência, analisamos alguns conceitos envolvidos no reconhecimento de padrões. Pesquisamos então os elementos estruturais envolvidos na percepção visual, na formação de representações mentais, na formação de conceitos e, principalmente, na aprendizagem.

Na terceira etapa, passamos ao estudo da principal ferramenta de apoio nos estudos cognitivos - o computador. Formalizamos o conceito de máquina serial pela descrição da máquina de Turing e analisamos alguns aspectos



das redes neurais, desenvolvidos por pesquisadores cognitivos, que envolvem o conceito de aprendizagem. Procuramos também entender as principais diferenças entre os modelos de redes neurais e os modelos baseados em representações simbólicas e processamento seqüencial.

Finalizando o processo de investigação, realizamos um estudo do modelo de Hopfield, na tarefa de reconhecimento de padrões, analisando o seu mecanismo de aprendizagem e verificando como se formam as estruturas representacionais e informacionais da rede.

Resumidamente, as idéias apresentadas acima foram organizadas e desenvolvidas em quatro capítulos:

No capítulo I discutimos os primeiros estudos sistemáticos sobre o conhecimento humano, que possibilitaram o nascimento da Ciência Cognitiva, sob uma perspectiva histórica. Destacamos também alguns aspectos filosóficos que proporcionaram a base teórica e que influenciaram as linhas de pesquisa dessa nova ciência, mas sem o compromisso de uma análise filosófica.

Nos estudos gregos, de 2500 anos atrás, ressaltamos as heranças na Ciência Cognitiva dos filósofos gregos Platão e Aristóteles. A seguir, analisamos a influência da corrente racionalista, representada por Descartes, nos estudos cognitivos atuais. Na corrente empirista, destacamos a influência do filósofo Hume, que ainda se faz presente na Ciência Cognitiva, com a consideração de que o processo de aprendizagem se inicia pela *experiência* e, em particular, pelo processo de *associação* de idéias.

No capítulo II, relatamos como surgiu oficialmente a Ciência

Cognitiva e analisamos seus pressupostos básicos. Em seguida discutimos os níveis de abstração envolvidos em modelos computacionais. Colocamos também as bases da tese representacionista da mente, a partir da perspectiva funcionalista. Para concluir os fundamentos básicos de nosso trabalho, discutimos o funcionalismo lógico-computacional e o funcionalismo neurocomputacional ou Conexionismo.

Debatemos então os pressupostos básicos da Ciência Cognitiva, o atual estágio de entendimento de aspectos envolvidos na aprendizagem e a validade da utilização de modelos computacionais para simular estados cognitivos. Colocada a parte teórica que sustenta o desenvolvimento de modelos cognitivos, o objetivo foi analisar o conceito de aprendizagem em modelos computacionais de redes neurais artificiais para o reconhecimento de padrões.

No capítulo III, passamos às noções envolvidas na aprendizagem e reconhecimento de padrões. Analisamos as primeiras tentativas de pesquisadores em medir e entender os processos perceptivos. Consideramos de forma especial a percepção visual e colocamos alguns conceitos que fundamentam o seu processo. A seguir, revemos alguns pressupostos que sustentam a noção de representação mental e o processo de aquisição de conceitos. Para encerrar o capítulo, discutimos os princípios básicos envolvidos no processo de aprendizagem.

No capítulo IV, após a colocação dos princípios da aprendizagem supostamente necessários ao reconhecimento de padrões, passamos à discussão sobre as noções de procedimento efetivo e máquina de Turing.



Fechamos esse capítulo abordando os conceitos envolvidos nos modelos de redes neurais, baseados em processamento paralelo e distribuído, *simulados* em computadores seriais.

Encerramos a nossa dissertação com a discussão do conceito de aprendizagem no modelo de rede neural de Hopfield, através de constatações obtidas no estudo de um modelo prático-teórico. Como início de nossa análise, estudamos o modelo de Hopfield no reconhecimento de padrões treinados. Depois, investigamos a capacidade de generalização dessas redes na recuperação do padrão completo quando somente uma parte da informação é apresentada ao modelo de rede neural artificial.

Nas notas finais, destacamos a relevância dos aspectos físicos envolvidos nos modelos de redes neurais artificiais e a importância dos modelos computacionais para o entendimento dos mecanismos de aprendizagem.



**O mundo é maravilhoso mas nada mais
maravilhoso do que o homem.**

Sófocles (In: Bowra et al., 1983, p.18)



CAPÍTULO I

A ORIGEM DA CIÊNCIA COGNITIVA

INTRODUÇÃO

A Ciência Cognitiva tem como objetivo principal o estudo dos estados mentais ligados à cognição. É uma ciência relativamente nova, com característica multidisciplinar, que ainda necessita desenvolver seus instrumentos de conceitualização. Seus principais objetos de estudo são questões como a natureza da mente, a relação mente e corpo e a natureza dos processos mentais responsáveis pelas crenças, representações, aprendizagem e conhecimento.

O objetivo da Ciência Cognitiva tem provocado discordância entre pesquisadores porque alguns consideram que noções como as de mente, representação mental, estado mental e outros fenômenos não são objetivamente analisáveis ou observáveis e, portanto, não poderiam fazer parte do contexto de uma ciência. No entanto, a Ciência Cognitiva entende que o estudo da mente pode ser analisado através de um modelo, ou seja, através da manipulação de um sistema de relações funcionais supostamente responsável pela tarefa de *conhecer*.

O trabalho dos cognitivistas, das mais diversas orientações, tem um objetivo comum: o desenvolvimento de uma Ciência com métodos e instrumentos próprios, voltada para o entendimento da natureza dos estados mentais que possibilitam a cognição humana. Nesta frase resumimos de forma geral a complexidade envolvida no empreendimento de elaborar modelos que possuam



como característica principal a simulação ou caracterização dos estados cognitivos.

Por outro lado, os estudos da mente e do conhecimento não são tão recentes quanto a Ciência Cognitiva. Para entender a origem dessa ciência e da metáfora computacional na busca de um modelo da mente, investigaremos nesse capítulo alguns fatos históricos. Esse retorno ao passado tem como finalidade verificar como surgiram as idéias e conceitos em que se apóia a nova ciência.

Inicialmente, na seção I.1, destacaremos as origens mais remotas da Ciência Cognitiva nos estudos gregos. Colocaremos algumas idéias de Platão e Aristóteles, por sua influência nos estudos sobre o conhecimento.

Na investigação sobre as influências filosóficas no desenvolvimento da Ciência Cognitiva, veremos também a importância das correntes racionalista e empirista. Na seção I.2, verificaremos a concepção de Descartes sobre o conhecimento, suas considerações sobre a natureza das representações mentais e a influência desses pensamentos na Inteligência Artificial e, na seção II.3, as principais considerações da corrente empirista, sua influência na Ciência Cognitiva e, em especial, nos modelos conexionistas.

Com o interesse voltado para os estudos que originaram a Ciência Cognitiva, passaremos para o século atual discutindo, na seção I.4, as influências do behaviorismo nos estudos cognitivos.

A seção I.5 finalizará a investigação de alguns princípios que possibilitaram a concepção de uma ciência da mente. Descreveremos nessa seção a maneira como o desenvolvimento da Cibernética e dos computadores sugeriu à Ciência Cognitiva o paradigma computacional.



I.1 - AS RAÍZES DA CIÊNCIA COGNITIVA NOS ESTUDOS GREGOS

A curiosidade do homem a respeito de suas próprias faculdades provavelmente sempre existiu, mas os registros mais antigos que demonstram esse estudo de forma sistemática e metodológica estão na obra grega. A cultura grega influenciou de forma marcante diversas áreas do conhecimento: das ciências e filosofia às artes, ao teatro e à poesia. Mas entre as contribuições mais importantes ressaltamos a prática de formulação de hipóteses científicas e o desenvolvimento de uma base teórica para as ciências aplicadas.

Os estudos do conhecimento realizados pelos filósofos gregos são considerados, conforme Gonzales (1991, p.94), as raízes filosóficas da Ciência Cognitiva. Os filósofos gregos, há 2500 anos, foram os primeiros a registrar pensamentos sobre a vida humana, e deixaram como herança uma extensa e importante obra cuja análise não é o objetivo desse trabalho. O nosso interesse não é analisar a história da Filosofia mas sim destacar a importância, para a Ciência Cognitiva, de alguns pensamentos filosóficos em relação à aquisição do conhecimento.

Os gregos eram conscientes do valor da vida humana, do problema da liberdade, da honra, da saúde, dos direitos, do papel do homem na sociedade, e apoiavam suas teorias em argumentos morais e psicológicos. Apesar de suas posições conflitantes nos estudos do homem e do conhecimento, destacamos, entre os filósofos gregos, Sócrates, Platão e Aristóteles, por acreditarmos que suas idéias foram as que mais influenciaram a Ciência Cognitiva.

Sócrates concebia que a Ciência e o conhecimento preexistem no

espírito do homem. Para ele, o conhecimento da realidade consistiria, então, em despertar noções inatas. Para fazer com que homem tivesse conhecimento delas de forma consciente utilizava o método de diálogo. Para Gardner (1995), foi Sócrates quem desenvolveu o primeiro estudo sistemático do conhecimento, e comenta:

“Havia aqui, talvez pela primeira vez na história intelectual humana, uma meditação prolongada da natureza do conhecimento: de onde vem, em que consiste, como ele é representado na mente humana? E, em boa medida, estava sendo proposta também uma teoria específica - embora altamente controversa - do conhecimento humano” (Gardner, 1995, p.17).

Os questionamentos de Sócrates sobre a natureza do conhecimento influenciaram também os estudos filosóficos desenvolvidos por Platão. Para esse filósofo, o conhecimento da realidade só se daria no mundo das *Formas* ou *Idéias*, que lhe dá sentido e substância. A idéia, para Platão, é que estabelece um princípio de verdade para a razão e a existência das coisas. O homem, para conhecer a verdade, não dependeria da percepção, mas da incursão no plano das idéias. A matéria seria governada por leis básicas, independente de sua apresentação. A percepção da aparência não seria a contribuição do mundo real (Bowra et al., 1983, p.139-44).

Platão definiu um método de postulados e deduções que propiciou principalmente o desenvolvimento da matemática. No nosso entendimento, Platão tinha como premissa básica que o conhecimento é a formação de um sistema de pensamento altamente organizado e coerente no plano das idéias. Para Platão, segundo Santos (1966, p.381), a experimentação e a percepção, hoje tão importantes para as ciências aplicadas, não conduziam à

verdade. A verdade estaria no mundo abstrato, no plano das idéias.

A concepção de Platão sobre o conhecimento do mundo no plano das idéias, de forma independente das percepções, como veremos no capítulo II, influenciou a Ciência Cognitiva e em particular a Inteligência Artificial.

A noção de Filosofia de Aristóteles contrasta com a concepção de Platão por sua abrangência. Para Aristóteles, conforme Santos (1966, p.382-9), a Filosofia envolveria todos os tipos de pensamentos (teóricos, práticos e poéticos) do ser, seus princípios e causas. Conforme o autor, Aristóteles concebia o homem como um ser formado de matéria e forma, ou corpo e alma. A educação, para ser harmoniosa, deveria então atender tanto a alma quanto o corpo para que o homem pudesse atingir o seu fim supremo, que é a felicidade. A felicidade seria alcançada através da virtude: o conhecimento da forma correta de agir e pensar. Aristóteles acreditava que o conhecimento era composto por aspectos sensitivos e intelectuais, distintos entre si mas intimamente relacionados. Os aspectos sensíveis, como veremos no capítulo III, estão presentes nos modelos de redes neurais da Ciência Cognitiva.

Para Aristóteles, as afirmações só podem ser transformadas em verdade quando são demonstradas. Através da demonstração das afirmações ou verdades, desenvolveu as leis do pensamento racional, isto é, como de uma idéia passa-se para outra mediante relações das idéias gerais com as particulares (Bowra et al., 1983, p.137-44). Para Aristóteles, a inteligência tem papel fundamental na vida do homem, pois é ela que possibilita o relacionamento coerente de idéias, que caracteriza o pensamento racional.



Aristóteles desenvolveu o que hoje chamamos de Lógica Aristotélica ou concepção clássica de conceitos (Oliveira, 1993, p.28). Um conceito pode ser pensado como um conjunto de propriedades, sendo cada uma delas individualmente necessária para a caracterização do mesmo. A concepção clássica dos conceitos predominou ao longo de quase toda a história da Lógica e da Filosofia e sobre ela discutiremos no capítulo III.

Podemos considerar que Aristóteles, rejeitando a preexistência das idéias e considerando que todo conhecimento começa pelos sentidos, lançou os fundamentos do ensino intuitivo, utilizado por ele na consideração de hipóteses, nas observações e experiências. Além disso, utilizou o método dedutivo em suas descrições lógicas, na teoria dos conceitos e na teoria da associação de idéias, onde são observados os princípios de semelhança, de contraste e pertinência.

Em resumo, as idéias dos filósofos gregos sobre o homem e o conhecimento influenciaram a modernidade e serviram de inspiração inicial para algumas correntes da Ciência Cognitiva. Em particular, foi Platão o grande inspirador da noção de que o conhecimento é adquirido de forma abstrata através de um método rigoroso e de um conjunto de idéias. Essa noção serviu de inspiração para o desenvolvimento da Inteligência Artificial cujos pesquisadores, na investigação do conhecimento, consideram que o processo de aprendizagem pode ser simulado no plano das idéias, através de representações simbólicas abstratas, sem considerações sobre o mundo exterior.

Aristóteles, por sua vez, além do rigor na utilização dos métodos, introduz a importância das percepções e da experimentação na aquisição

do conhecimento. A preocupação com a importância das percepções na aquisição do conhecimento foi incorporada pelas redes neurais, na Ciência Cognitiva.

A leitura e o estudo dos clássicos gregos influenciam o debate científico e filosófico, principalmente na questão da importância das experiências para as ciências. No debate filosófico da natureza do conhecimento, destacaremos a influência de duas concepções, o racionalismo e o empirismo, nas seções I.2 e I.3, respectivamente.

I.2 - O RACIONALISMO E SUA INFLUÊNCIA NA CIÊNCIA COGNITIVA

Muitos filósofos pioneiros podem ser destacados por seus trabalhos realizados com o objetivo de caracterizar o conhecimento e os mecanismos de aprendizagem nele envolvidos. Devido à sua influência na história e filosofia da Ciência, destacamos o principal representante da corrente racionalista: Descartes, que viveu no século XVII.

Para Descartes, a Filosofia podia ser entendida como a totalidade do conhecimento científico. Ele utilizou um método de análise que consistia na divisão de problemas maiores em problemas menores até chegar a um problema conhecido. Considerava que o uso da intuição era importante para o desenvolvimento do conhecimento e da ciência. Concordava com os gregos na concepção de que o ser humano nasce com idéias inatas. Descartes em *As Meditações* ([1641] 1983), identificou as denominadas “idéias claras e distintas” e recorreu à noção de primeiros princípios, por si evidentes, para buscar os fundamentos do conhecimento. Num contexto de dúvida metodológica, coloca em



dúvida todas as fontes do conhecimento para encontrar um princípio não duvidoso.

Em busca da verdade, Descartes constatou, em sua primeira meditação, que os fundamentos da ciência podem ser falsos e duvidosos. O processo de dúvida¹ desenvolve-se de forma crescente: todo o conhecimento, antigas opiniões e finalmente a razão. A razão seria a faculdade que permite discriminar o verdadeiro do falso e estabelece a possibilidade de formular critérios de verdade. Utilizando-se de um recurso metodológico, Descartes colocou em dúvida todo o seu conhecimento anterior e dedicou-se a verificar os princípios sobre os quais se baseava o conhecimento das ciências. Não tentou provar a veracidade ou falsidade de cada conhecimento, mas apenas as *leis imutáveis* sobre as quais o verdadeiro conhecimento pode ser construído. A dúvida é hiperbólica, isto é, sistemática e generalizada, e trata como falso o que é apenas duvidoso.

Pelo processo de dúvida, em suas meditações, Descartes estabelece que só o ato do pensamento, quando em ação, não pode ser colocado

¹ No processo de dúvida hiperbólica, Descartes estabelece os conhecimentos que serão objetos de desconfiança.

O primeiro grau da dúvida é o argumento do erro pelos sentidos, que pode nos enganar na avaliação do mundo exterior. O processo perceptivo depende das condições dos órgãos dos sentidos e qualquer disfunção pode nos levar a percepções que não correspondem à realidade. Existem também processos como o da refração da luz, que produzem as miragens e o arco-íris, efeitos ópticos que distorcem os objetos. Por exemplo, um bastão reto, quando colocado obliquamente na água, não parece mais reto a um observador.

O segundo grau da dúvida é conhecido como o argumento do sonho. Descartes observa que não há marcas nítidas entre a vigília e o sonho. No sonho, podemos ter sensações como as da vida real, e não é possível distinguir diferenças entre elas.

Através da meditação, Descartes identifica pensamentos claros e distintos em nossa mente, elementos físicos como: grandeza, quantidade, tempo, forma, etc. Estes são elementos de natureza simples, indecomponíveis, objetos da Matemática e da Geometria, que escapam a todas as razões naturais de duvidar. Mas, para duvidar da própria razão, dos princípios básicos da Aritmética e Geometria, Descartes se assegura, então, de desconfiar sempre de suas crenças. Quando pensar que as está usando, enganará a si mesmo, pensando que são argumentos falsos e imaginários. Considera a não existência da terra, do céu; que ele não possui um corpo; que será possível controlar o seu juízo (Descartes,[1641] 1983).

em dúvida. É o próprio ato de pensar que garante a existência do mundo mental. A consciência não pode ser dissociada da realização do ato, e isso significa realizar um ato da razão (Ghiraldelli, 1996).

Conforme Landim (1996), Descartes mostra, através do enunciado “Eu penso, logo existo”, a consciência de que há atos na consciência e que é sujeito desse ato. Após esse reconhecimento, ele sugere que os atos da consciência, ou mentais, são superiores aos atos corporais, e que estes são regidos pelos primeiros. A partir da primeira verdade “Eu penso”, a filosofia primeira de Descartes apresenta uma série de outras proposições que fundamentam o saber.

Descartes aplicou o método dedutivo às ciências naturais, sem considerar a observação e a experimentação, apesar de reconhecer a importância das percepções para a vida humana. Estudou o funcionamento do sistema sensorial, a natureza dos processos cerebrais e separou a mente do corpo.

A mente seria fundamental para a existência humana e teria funcionamento independente do corpo. A mente não ocupa lugar no espaço e não se resume a processos físicos; é unificada e não passível de decomposição. Por sua vez, o corpo seria um autômato divisível em partes, cujos elementos poderiam ser removidos sem alterar necessariamente a capacidade de pensar nem a racionalidade do ser humano. Descartes julgava que, mesmo se fosse possível projetar um autômato semelhante ao corpo humano, tal ser nunca se assemelharia ao homem racional. Para ele, a mente não pode ser concebida a partir de um projeto mecânico porque a liberdade humana é incompatível com o comportamento de um autômato (Gardner, 1995, p.63-5).

Descartes, apesar de reconhecer a necessidade e importância dos sentidos, atribuiu a capacidade de pensamento e criatividade à mente. Somente ela, refletindo sobre o conjunto de conhecimentos, poderia buscar a verdade. Conforme Gardner (1995, p.66), Descartes, assim como Platão, atribuiu à experiência o erro ou a inconstância humana, e à mente, refletindo sobre suas próprias idéias, a racionalidade, o entendimento e o conhecimento genuíno.

A supremacia da mente, para Descartes, deve-se aos seus poderes de raciocínio e criatividade, que podem operar de forma independente do corpo. Para ele, o conhecimento humano dos objetos e coisas do mundo exterior é sempre mediado por *representações mentais*. A mente racional não poderia ser simulada em nenhuma máquina, porque o seu funcionamento pressupõe a existência da alma que, por sua vez, não se reduz a processos mecânicos. Somente o corpo poderia ser simulado por um mecanismo.

Para Gonzales (1991, p.97), foi Descartes quem iniciou o estudo sistemático das representações mentais. Apesar de representarem o mundo externo, essas representações possuem uma independência em relação ao objeto representado e levam à possibilidade de podermos dispensar, na investigação da natureza da mente humana, considerações sobre o mundo externo ao sujeito.

Apesar de ser anti-mecanicista no estudo da mente, a filosofia de Descartes mantém vivo o debate entre os estudiosos cognitivos sobre a possibilidade de simular as capacidades superiores da mente em um objeto mecânico. Também sobre a existência ou não das representações mentais, que teriam a finalidade de intermediar o mundo mental e o mundo exterior. Sua teoria

gerou o debate sobre o estudo da mente e a aquisição do conhecimento e ainda hoje serve de base filosófica para a investigação da mente, com a concepção de que não é necessário levar em consideração o mundo exterior e sua influência sobre o indivíduo.

A seguir, investigaremos o empirismo, apontando para a sua posição antagônica em relação ao racionalismo de Descartes e à sua influência nos estudos da natureza do conhecimento humano. Ressaltaremos também a importância da concepção empirista no processo de aprendizagem.

I.3 - O EMPIRISMO E SUAS HERANÇAS PARA A CIÊNCIA COGNITIVA.

Ainda no século XVII surgiu o empirismo, com uma concepção contrária ao cartesianismo, dando origem a um novo enfoque no estudo do conhecimento. O empirismo defendeu a importância das impressões sensoriais e das experiências pessoais na construção do pensamento. Enquanto o cartesianismo sugere a supremacia da mente sobre o mundo sensorial, o empirismo defende que os estados da mente são afetados e construídos a partir das percepções.

As idéias centrais do empirismo são consideradas importantes porque geraram novas concepções no estudo da natureza do conhecimento. O empirismo tem como principal representante o filósofo inglês Locke ([1690] 1973). Destaca-se também o filósofo Hume ([1748] 1973), pela influência de suas idéias, ainda hoje, na Ciência Cognitiva.

O interesse central de Locke foi a investigação da origem e



natureza do conhecimento. Segundo Gardner (1995, p.68), Locke considerava a experiência sensorial como “a única fonte confiável de conhecimento”. Defendeu a idéia de que somente a experiência pode possibilitar abstração e generalização, através da interação de idéias simples que, por um processo associativo, levam o indivíduo à concepção e compreensão de idéias complexas.

Locke considerava a existência de dois tipos diferentes de experiências:

“Todas as nossas idéias provêm unicamente da experiência; esta porém é dupla: interna e externa. Pela experiência externa ou sensação, percebem-se os corpos; pela experiência interna ou reflexão, conhecem-se os atos e estados da consciência” (In: Santos, 1966, p.431).

Assim, as idéias são geradas pela percepção das propriedades básicas do mundo real como forma, movimento, extensão, e das propriedades secundárias como cor, som, calor e outras. A reflexão sobre as percepções é que leva à conclusão, generalização e incorporação do conhecimento.

A filosofia de Locke, além de ser contrária à filosofia cartesiana, que defendia a aquisição de conhecimento via introspecção, foi também contrária à filosofia de Platão, que defendeu o conhecimento inato. Para Locke o homem nasce como uma página em branco, cujo desenvolvimento não pode ocorrer somente pelo exercício abstrato das faculdades mentais. As *experiências* com o mundo exterior é que possibilitariam a aquisição do conhecimento.

Os questionamentos ao cartesianismo aparecem também nos trabalhos de Hume. Para ele, é discutível a existência de um local ou substância



denominada *mente*, que só poderia ser concebida como um nome abstrato para uma série de idéias. Só seria possível conhecer a mente como conhecemos a matéria: através da percepção.

O empirismo e sua contraposição ao racionalismo promoveu um debate e uma reflexão filosófica sobre temas como representações mentais, validade das experiências empíricas, importância das percepções sensoriais e outros, que impulsionaram o desenvolvimento das ciências e, entre elas, da Ciência Cognitiva.

O Conexionismo, uma das correntes filosóficas da Ciência Cognitiva, sobre a qual discorreremos no capítulo II, parece buscar suas primeiras inspirações no empirismo. Podemos reconhecer na obra de Hume, *Investigação sobre o Conhecimento Humano*, a sugestão de uma rede neural. Hume escreve:

“É evidente que existe um princípio de conexão entre os diversos pensamentos ou idéias do intelecto e que, no se apresentarem à memória e à imaginação, são introduzidos uns pelos outros com certo grau e regularidade” (Hume, [1748] 1973, p.136).

Hume destaca a importância do *processo associativo* que permite uma interligação entre idéias e que fornece a base para a aquisição de novos conhecimentos. A associação de idéias, segundo o autor, obedece a três princípios de conexão: semelhança; contigüidade de tempo e lugar; causa e efeito.

Assim, encontramos na corrente empirista uma defesa do método da experimentação como gerador de conhecimento. O princípio básico do empirismo estabelece que o processo de aprendizagem do mundo exterior se inicia

na experimentação e que, através da associação de idéias, passamos de conhecimentos simples para os mais complexos.

As idéias centrais do empirismo, como a importância das percepções e do processo associativo, constituem as inspirações iniciais dos modelos de redes neurais na investigação dos processos de aprendizagem. Essa concepção difere substancialmente dos modelos da Inteligência Artificial clássica que defende o processo de aprendizagem como um resultado de manipulação simbólicas no plano das idéias. Como já destacamos na seção I.2, apesar da posição contrária de Descartes ao mecanicismo, o racionalismo serviu como base para os modelos da Inteligência Artificial.

Conforme Morin (1996, p.190) racionalidade e empirismo mantêm um diálogo fecundo entre a razão de se apoderar do mundo real e a resistência deste perante a razão. A ciência se fundamenta entre imaginação e verificação, empirismo e realismo.

Assim, o debate entre racionalismo e empirismo permanece nos dias atuais. Isso é muito claro quando distinguimos as concepções básicas das principais correntes da Ciência Cognitiva: a Inteligência Artificial e o Conexionismo. Mas, antes de nos transportarmos à atualidade para discutirmos esse assunto, veremos a influência do behaviorismo na Ciência Cognitiva e como surgiu o pressuposto da metáfora computacional da mente.

Na seções seguintes, sem a pretensão de escrever a história da modernidade, destacaremos os fatos mais significativos para o nascimento da nova Ciência. Em particular, discutiremos os estudos e as limitações do behaviorismo.



I.4 - O BEHAVIORISMO E SUA INFLUÊNCIA NA CIÊNCIA COGNITIVA

Até o final do século XIX, os estudos da mente não eram considerados ciência. Essa época foi marcada por trabalhos inéditos de pesquisadores cognitivos que tentavam constituir uma nova ciência cujo principal objetivo fosse o estudo do comportamento. Nesse empreendimento, o rigor dos métodos científicos foi transportado para os estudos comportamentais.

No final desse mesmo século, iniciou-se uma tendência de pesquisa voltada para a tentativa de mensurar características cognitivas como: a intensidade das sensações e a velocidade do pensamento e das operações mentais superiores. Numa linha divergente, surgiram também alguns projetos que consideravam fatores como propósito pessoal, intenção e experiência.

Os estudos das percepções eram realizados através de abordagens nas quais os indivíduos recebiam um estímulo, realizavam um exame das percepções e relatavam o ocorrido de forma objetiva.

Já no século XX, iniciou-se nos meios acadêmicos uma discussão sobre a questão do conhecimento se iniciar pela experiência e sobre a questão das representações mentais. Alguns pesquisadores começaram a desenvolver seus trabalhos com um novo enfoque, no qual as funções mentais foram incorporadas aos estudos da cognição.

Mesmo com algumas oposições, o método introspectivo, com a auto-reflexão, foi o mais utilizado até a década de 20, mas não parece ter fornecido uma base de conhecimento essencial à ciência, devido à subjetividade e à



difficuldade de conhecer os estados mentais, através dele.

Conforme Gardner (1995, p.123), o movimento behaviorista teve início em 1913 com o psicólogo Watson, que defendeu a idéia de que os estudos do comportamento deveriam ser mais objetivos. Para Watson, através de observações é que se poderia avaliar a validade das teorias e hipóteses sobre o comportamento. Essa idéia veio ao encontro das necessidades dos pesquisadores cognitivos que, com o método introspectivo, não tinham a possibilidade de avaliar experimentos de outros pesquisadores.

Essa ciência do comportamento, e não da mente, limitou os estudos sobre a natureza do pensamento, da imaginação, da intenção e de outros estados mentais. Foram também excluídos temas como as representações mentais ou outras formas de mediação do sujeito com o mundo exterior.

No behaviorismo, segundo Gardner (1995, p.26-7), os indivíduos eram vistos como refletores *passivos* de várias forças e fatores do meio ambiente. Para ele, os behavioristas acreditavam que a ciência do comportamento era capaz de explicar o que um indivíduo poderia fazer, como também as circunstâncias nas quais ele poderia fazê-lo. Da mesma forma que a mecânica explicara as leis do mundo físico, modelos mecanicistas poderiam explicar a atividade humana. O autor destaca também que o behaviorismo atendeu a muitas necessidades da comunidade científica, devido à dificuldade na aceitação de avaliações aparentes e em evidências introspectivas, sem possibilidade de controle científico ou de contestação objetiva. Questões a respeito de linguagem, planejamento, resolução de problemas, imaginação e outras foram tratadas com dificuldade, devido às

limitações impostas pelo behaviorismo.

O behaviorismo tinha como principal objetivo o estudo de circunstâncias observáveis que poderiam levar a um determinado comportamento. A questão mais importante para o behaviorismo era a investigação científica da conduta humana, levando em consideração o *controle* e a *previsão* de comportamentos.

A maioria dos trabalhos cognitivos desenvolvidos até a metade do século tinham como base metodológica o behaviorismo. Poucos foram os pesquisadores que se preocuparam com a investigação de aspectos mentais. Entre estes, destacamos Piaget (1932), que se concentrou no estudo do desenvolvimento do pensamento das crianças. Pesquisou as leis básicas do pensamento, os estágios de desenvolvimento e a formação dos conceitos. Sugeriu mecanismos que permitiriam à criança o desenvolvimento mental e a transição de um estágio para outro. Segundo Taille (1996), a pergunta que Piaget queria responder era: “como o homem é capaz de construir pensamentos novos?”.

Em resumo, os esforços de pesquisadores cognitivos provocaram uma mudança de direção nos projetos de pesquisa do conhecimento na década de 50. Por um lado, o behaviorismo que defendia o comportamento como um reflexo aos estímulos recebidos pelo sujeito; por outro o cognitivismo, defendendo um estudo mais abrangente com considerações sobre intenção, propósito e outros estados mentais. Esse conflito de idéias entre as correntes behaviorista e cognitivista provocou novas perspectivas em relação ao entendimento da memória, aprendizagem e comportamento.



Novas perspectivas nos estudos cognitivos abriram-se pelo desenvolvimento da Cibernética e pelos trabalhos que possibilitaram o desenvolvimento dos computadores. No que se segue, discutiremos esses estudos que forneceram a instrumentação básica da Ciência Cognitiva.

I.5 - OS PRECURSORES MODERNOS DA CIÊNCIA COGNITIVA

As décadas de 40 e 50 foram o período das grandes guerras mundiais. Os estudos desenvolvidos nas Universidades e Institutos de Pesquisas dos países envolvidos voltaram-se para pesquisas com enfoque no desenvolvimento de tecnologia como computadores, calculadoras, meios de comunicação e aparelhos servomecânicos. Destacaremos nesse capítulo apenas alguns dos projetos que serviram de base para a constituição da Ciência Cognitiva.

Inicialmente, podemos destacar o pesquisador Wiener (Gardner, 1995, p.30-8) que trabalhou em projetos servomecânicos envolvendo sistemas de controle que possibilitam ao atirador o conhecimento da posição do alvo, a correção do controle da arma e o cálculo do momento de atirar o projétil para atingir o seu objetivo. Wiener desenvolveu uma teoria probabilística que revolucionou as técnicas de previsão de sinal. Trabalhou com Bigelow nesses projetos e juntos concluíram importantes analogias entre os aspectos de *feedback* de equipamentos de engenharia e processos homeostáticos pelos quais o sistema nervoso humano mantém atitudes propositais.

Wiener, segundo Gardner (1995), foi o primeiro a considerar que os desenvolvimentos científicos e tecnológicos constituíam uma nova ciência



baseada nos métodos de controle e comunicação. Em 1948, Wiener publicou o livro *Cibernética* onde introduziu a sua ciência da seguinte forma:

“Nós decidimos chamar todo o campo da teoria do controle e comunicação, seja na máquina ou no animal, pelo nome de Cibernética” (In: Gardner, 1995, p.35).

Conforme Dupuy (1996, p.47), essa primeira Cibernética estuda dispositivos mecânicos que transformam mensagens de entrada em mensagens de saída. Apesar disso, não pode ser reduzida ao behaviorismo do tipo estímulo-resposta porque foi introduzida a noção de *feedback*, através do qual um mecanismo é capaz de mudar a relação que estabeleceu entre entrada e saída.

Nesse primeiro momento aparecem trabalhos importantes para a consolidação da Ciência Cognitiva, desenvolvidos por Turing e Shannon.

Turing, matemático britânico, desenvolveu a noção de uma máquina simples que poderia, em princípio, executar vários tipos de cálculos. A máquina de Turing é um sistema abstrato de manipulação de símbolos. Ela pode ser “visualizada” a partir de uma fita e um *scanner* para ler o que está nela contida. A fita é dividida em quadrados idênticos, cada um dos quais pode conter um símbolo. A máquina utiliza o código binário ou um conjunto finito de símbolos. A cada passo, a máquina pode manter o símbolo lido, substituí-lo por outro e em seguida passar a ler o símbolo em outro quadrado à direita ou à esquerda, ou ainda no mesmo quadrado. A máquina é capaz de executar qualquer problema ou plano expresso por meio de um número finito de símbolos (Gardner, 1995, p.32).

A concepção teórica de máquina desenvolvida por Turing



constitui a base para a construção dos computadores. No artigo intitulado *Computadores e Inteligência* (In: Epstein, 1973), publicado em 1950, Turing discutiu a questão “*Podem as máquinas pensar?*” e sugeriu que se poderia programar uma máquina de tal forma que seria impossível distinguir suas respostas das de um homem. Esse teste foi imortalizado como o *teste de Turing*.

As implicações das idéias de Turing foram aproveitadas por cientistas interessados no entendimento da estrutura do pensamento humano. Eles julgaram que, se conseguirem descrever com precisão o comportamento dos processos de pensamento, podem projetar uma máquina que opere de forma semelhante a esses processos. Devido à importância do trabalho de Turing no desenvolvimento da Ciência Cognitiva, será apresentado, no Capítulo IV, a base intuitiva e a descrição formal da máquina de Turing.

Por sua vez, Shannon, em 1938, publicou uma teoria lógica dos circuitos elétricos. Propôs que os princípios da lógica, nos termos de declarações verdadeiras e falsas, poderiam ser usados para descrever os dois estágios (ligado/desligado) de uma chave eletromecânica. Sua tese principal era que circuitos elétricos agrupados poderiam englobar operações de processamento e transmissão de informações. Para Dupuy (1996, p.57-8), a novidade apresentada por Shannon era a ferramenta lógica, o cálculo das proposições em dispositivos mecânicos, que permitiu o estudo desse processamento.

Segundo Gardner (1995), Shannon trabalhou durante os dez anos seguintes com Weaver e desenvolveu a noção principal de sua teoria da informação: a informação pode ser concebida como uma forma independente de

conteúdo ou significado. Seria uma decisão única entre duas alternativas possíveis. A unidade básica da informação é o *bit*, quantidade necessária para determinar uma alternativa entre duas informações possíveis (0 e 1). Assim, oito alternativas de mensagens podem ser representadas em apenas três unidades de informação. Após identificação do primeiro *bit* o processo se reduz para quatro alternativas em dois *bits* de informação. Por sua vez, a identificação do segundo *bit* reduz a escolha para apenas duas alternativas possíveis.

Shannon desenvolveu a teoria da informação e a noção de que a informação pode ser concebida independente do aparelho transmissor. A perspectiva de seu trabalho era apenas tecnológica uma vez que ele não estava preocupado com os processos cognitivos e com a simulação desses processos. Apesar disso, a partir de sua idéia, alguns pesquisadores perceberam que a comunicação de qualquer mensagem via mecanismo poderia servir de base à consideração de que os processos cognitivos podem ocorrer em equipamentos materiais.

A noção de informação sugerida por Shannon provocou uma nova perspectiva para o desenvolvimento tecnológico e também para o estudo de estados cognitivos. Wiener observa:

“Informação é informação, não matéria ou energia. Nenhum materialismo que não admita isto pode sobreviver nos dias atuais” (In: Gardner, 1995, p.36).

Os trabalhos de Wiener, Shannon e Turing são categorizados por Dupuy (1996) como um primeiro momento da Cibernética, no qual a mente pode

ser vista como uma máquina lógica. E escreve:

“Máquina artificial ou material, por um lado, lógica como máquina, por outro, estão ligadas por uma relação de identidade. Como, porém, já se tinham na época todos os elementos para se convencer de que a mente é uma máquina lógica, Shannon teria podido concluir, por transitividade, que a mente é uma máquina materializável - e portanto, talvez, replicável pelo artifício do homem. O engenheiro certamente sentia repulsa por tais saltos. Outros não iriam tardar a fazer a travessia” (Dupuy, 1996, p.58).

Ainda conforme Dupuy, o segundo momento da Cibernética foi a assimilação da idéia de cérebro como uma máquina lógica. Nessa etapa, ele destaca os trabalhos de McCulloch e Pitts demonstrando a existência de uma máquina lógica com estrutura inspirada no cérebro humano.

O modelo neuronal é concebido com suas unidades básicas estruturadas como se fossem neurônios que podem ser ativados e/ou inibidos. Esse projeto pressupõe o processamento em paralelo e distribuído da informação, enquanto a máquina de Turing é concebida com processamento sequencial.

No terceiro momento da Cibernética, conforme classificação de Dupuy (1996), a construção dos computadores se torna realidade. Nesse empreendimento, destacamos o pesquisador von Neumann.

Neumann concebeu e participou de vários projetos de construção de máquinas calculadoras. Seus primeiros projetos foram realizados com a concepção de que os próprios circuitos realizariam as funções, sem a distinção entre equipamento e programa.

Posteriormente, Neumann, tomando como base a concepção

teórica da máquina de Turing, desenvolveu a máquina de processamento sequencial e separou a concepção lógica da máquina dos circuitos eletrônicos. Ele criou a noção de um *programa* para controlar o funcionamento da máquina e instruí-la na execução de novas tarefas. Com a noção de programa, passa-se à idéia de que é possível a um computador preparar e executar seus próprios programas. Essa concepção de máquina com processamento serial é, ainda hoje, a arquitetura da maioria dos computadores.

Do trabalho desenvolvido pelos precursores modernos da Ciência Cognitiva consolidaram-se os principais assuntos que vieram a constituir a Ciência Cognitiva: o paradigma computacional da mente; e a concepção de que os estudos cognitivos devem envolver a capacidade computacional da mente. Os computadores surgiram então como uma ferramenta auxiliar na investigação das capacidades representacional e computacional da mente.

O desenvolvimento da Cibernética e da tecnologia computacional também foi um marco para o desenvolvimento das ciências empíricas, em geral. Para alguns autores, foram esses avanços tecnológicos que permitiram a consideração sobre a complexidade dos sistemas dinâmicos.

Em *Ciência com Consciência*, Morin (1996) coloca que o desenvolvimento da ciência depende da consideração da complexidade que envolve as estruturas dos organismos vivos ou materiais. Para ele, a complexidade é marginal no pensamento filosófico e aparece numa linha também marginal entre a engenharia e a ciência, na Cibernética e na teoria dos sistemas. Conforme o autor, o primeiro grande texto que aborda o problema da complexidade foi desenvolvido



por Weaver. Nesse texto, Weaver predizia que o século atual seria a época da complexidade organizada.

Para Morin, o desenvolvimento da Cibernética foi especialmente importante porque restaurou cientificamente a idéia de *finalidade*, tornando-a complexa. A Cibernética restaurou a idéia de *totalidade*, no sentido de organização de um todo, e enriqueceu também a causalidade com idéias de retroação negativa e positiva. O autor considera que o desenvolvimento da Cibernética reduziu aspectos sociais, humanos e biológicos à lógica unidimensional das máquinas artificiais.

Em resumo, nesse capítulo, discutimos os estudos e debates que deram origem à Ciência Cognitiva. Consideramos que as raízes filosóficas mais remotas desta nova Ciência situam-se na filosofia grega, através do estudo sistemático da origem do conhecimento. Na filosofia de Platão, destacamos sua concepção de conhecimento inato que se processa no plano das idéias e a forte influência dessa teoria no desenvolvimento da Inteligência Artificial. Algumas das idéias de Platão foram contrastadas com as de Aristóteles, que concebe a importância das percepções e da experiência na aquisição do conhecimento.

A seguir comentamos a corrente racionalista fundada por Descartes. O racionalismo defende a aquisição de conhecimento de forma introspectiva: o sujeito consciente refletindo sobre suas próprias idéias. Consideramos também que Descartes introduziu a noção de *representações mentais* que teriam como finalidade estruturar o conhecimento.

Por outro lado, apresentamos a corrente empirista para a qual o

processo de aprendizagem é construído através das percepções e experiências. No empirismo, destacamos a concepção de Hume: a associação de idéias é um elemento central para a aquisição de conhecimento.

O debate filosófico sobre uma ciência da mente passa então pela necessidade de conceber métodos e procedimentos próprios. Verificamos que o behaviorismo influencia fortemente as pesquisas e que as limitações do método comportamental impedem algumas considerações essenciais como intenção, propósito, nos estudos do conhecimento humano. Colocamos também que as pesquisas com enfoque cognitivista adquirem maior força na metade do século atual e desafiam, inicialmente, os métodos behavioristas.

Na estruturação da Ciência Cognitiva destacamos também o desenvolvimento da cibernética como as primeiras considerações da perspectiva mecanicista da mente. Revemos algumas pesquisas importantes que consolidaram a Cibernética e que permitiram a construção dos computadores. O desenvolvimento tecnológico proporcionou aos pioneiros modernos da Ciência Cognitiva novas linhas de pesquisas e a perspectiva de que os computadores poderiam auxiliar na investigação e nos testes sobre como se processam os estados mentais cognitivos. Esse conjunto de idéias da Cibernética e da Ciência da Computação criou, no meio acadêmico, a noção de que os estados mentais podem ser simulados em instanciações materiais, desde que possam ser descritos em todas as etapas de seu processamento.



**Qualquer coisa que possa ser descrita de
forma exaustiva e inequívoca ... é ... realizável por
uma rede neural finita apropriada.**

John von Neumann (In: Gardner, 1995, p.33)



CAPÍTULO II

MODELOS COMPUTACIONAIS COMO INSTRUMENTOS

EXPLICATIVOS DO MENTAL

INTRODUÇÃO

O final da década de 40 foi marcado, conforme vimos no capítulo anterior, pelo desenvolvimento da cibernética, pelo paradigma computacional, pela necessidade de novos métodos nos estudos do comportamento e pela necessidade de entender cada vez mais a natureza do conhecimento. A reunião dos assuntos debatidos em várias áreas sobre a natureza do conhecimento sugeriu a necessidade de uma nova ciência. Os principais temas dessa ciência são os estudos sobre a estrutura dos processos cognitivos e a natureza desses processos. Nessa época, parecia não existirem mais dúvidas de que seria possível uma ciência da mente.

Pesquisadores cognitivos tentavam unir forças através de projetos multidisciplinares sob duas perspectivas diferentes, herdadas dos trabalhos desenvolvidos pelos precursores modernos da Ciência Cognitiva: (1) um computador operando como uma célula nervosa e suas conexões de modo paralelo e distribuído; e (2) um computador operando de modo serial e determinístico.

Essas perspectivas computacionais proporcionaram o fortalecimento das idéias mecanicistas da mente. Os computadores são utilizados como ferramentas de apoio as duas linhas de pesquisa (1) e (2). Essas linhas são diferentes quanto aos métodos e concepções teóricas, mas possuem o mesmo

objetivo: entender os estados mentais necessários à aquisição do conhecimento.

Pesquisadores cognitivos adeptos da primeira linha de pesquisa pressupõem que as nossas funções mentais são executadas de forma distribuída e paralela. Na segunda linha, pesquisadores adotam a idéia de que realizamos computações mentais de forma seqüencial, utilizando a lógica na manipulação de regras abstratas e de símbolos.

A perspectiva (2), com inspiração da máquina teórica de Turing, foi a linha adotada na construção dos computadores. Eles foram desenvolvidos considerando o processamento de forma serial e determinística. A perspectiva (1) sugere uma máquina denominada conexionista, com o processamento da informação de forma distribuída e altamente paralela.

Os computadores possuem, em sua maioria, apenas um processador central. As máquinas atuais que possuem mais de um processador e executam princípios de multiprocessamento não podem ser consideradas como máquinas conexionistas. Uma máquina conexionista pode ser caracterizada por processadores fortemente conectados, que interagem entre si, processando alguns aspectos da informação. O processamento é executado em várias unidades de forma simultânea, cada uma transferindo ou inibindo estímulos a outros núcleos de processamento de informação.

Os modelos cognitivos conexionistas, mesmo considerando o processamento distribuído e fortemente paralelo, são em geral simulados em máquinas que executam o processamento de forma serial.

Observando as diferentes perspectivas nos estudos

computacionais dos estados mentais, o objetivo desse capítulo é debater as duas linhas principais de pesquisa da Ciência Cognitiva e identificar os conceitos que lhes fornecem a base teórica.

Apresentaremos inicialmente, na seção II.1 os eventos ou encontros que oficializaram o nascimento da Ciência Cognitiva e discutiremos na seção II.2 os pressupostos básicos dessa ciência que devem ser observados nos empreendimentos científicos. Juntamente com estes pressupostos, apresentaremos as noções básicas da tese representacionista da mente.

Na seção II.3 discutiremos a técnica de modelagem dos processos cognitivos considerando que o interesse maior está voltado para a modelagem computacional desses processos. Consideramos os níveis de análise envolvidos no modelo computacional. Este tem como desafio o desenvolvimento e a implementação, num computador, de aspectos que simulam os estados cognitivos necessários à aquisição do conhecimento.

No final desse capítulo discutiremos, na seção II.4, a tese funcionalista da mente e as posições contrárias a essa tese. Analisaremos também, na seção II.5, as principais suposições das correntes de pesquisa derivadas do funcionalismo e/ou representacionismo nos estudos da cognição.

II.1 - O NASCIMENTO OFICIAL DA CIÊNCIA COGNITIVA

A maioria dos autores considera que a Ciência Cognitiva foi oficializada como um novo campo de estudo no ano de 1948. Nessa data, foi realizado o Simpósio Hixon no Instituto de Tecnologia da Califórnia. Este

simpósio reuniu pesquisadores como von Neumann, McCulloch, Pitts e outros. Segundo Gardner (1995, p.33-4), foi aí que von Neumann apresentou uma comparação entre o computador eletrônico (máquina de Turing) e o cérebro. Por sua vez, McCulloch usou o título *Porque o Cérebro Está na Cabeça* para discutir como o cérebro processa informações e traçar comparações entre o cérebro e alguns instrumentos lógicos. O modelo apresentado por McCulloch e Pitts mostrou que as operações de uma célula nervosa e suas conexões com outras células nervosas podiam ser modeladas em termos da lógica. Os neurônios podiam ser pensados como enunciados e os impulsos nervosos poderiam ser comparados à operação do cálculo proposicional. Essa concepção indicava que um sistema artificial pode operar de forma semelhante ao cérebro humano.

Para o autor, foram as idéias de McCulloch e Pitts, e as de von Neumann, que indicaram à comunidade científica que a Máquina de Turing apontava em duas direções: para um modelo neuronal ou um sistema nervoso composto de neurônios ativados ou desativados; e para um modelo lógico, com um computador capaz de realizar processos determinísticos.

O Simpósio Hixon foi importante porque deu início ao pressuposto básico da Ciência Cognitiva, o paradigma computacional, que estabeleceu a ligação entre cérebro e computador. Mas, para alguns pesquisadores cognitivos, a Ciência Cognitiva realmente foi oficializada durante o Simpósio sobre a Teoria da Informação, realizado em setembro de 1956, no MIT. Nesse simpósio, foram apresentados alguns trabalhos considerados importantes para a Ciência Cognitiva porque provinham de várias áreas do conhecimento e focalizavam a

natureza e a estrutura do conhecimento.

Entre eles, Newell e Simon, pesquisadores da Inteligência Artificial, apresentaram o tema *Máquina de Teoria Lógica*, onde demonstraram uma prova completa de teoremas executados em uma máquina digital. Esse trabalho consolidou a concepção computacional da mente e a idéia de que o computador poderia reproduzir funções superiores da mente humana de forma simbólica e determinística.

A Ciência Cognitiva tem como origem uma série de trabalhos de várias áreas que, reunidos, consolidam a idéia de que é possível um estudo dos estados mentais necessários à aquisição do conhecimento. As pesquisas desenvolvidas até a metade do século XX reforçam também a concepção computacional e representacional da mente. Os computadores passam então a servir como ferramentas para testes e verificação de hipóteses sobre a cognição.

Nessa época, começam também as publicações oficiais sobre essa nova ciência. Entre elas destacamos *O computador e o cérebro*, publicado em 1959 por von Neumann. A importância dessa obra se deve ao fato de que nela von Neumann apresenta suas considerações sobre diversos tipos de concepção de computadores, analisa a idéia de *programa* numa máquina artificial, o funcionamento da memória em computadores e a possibilidade de máquinas que se auto-repliquem (Gardner, 1995, p.44).

Os estudos da cognição dividem-se então em duas áreas de pesquisa: a Inteligência artificial e o Conexionismo ou Processamento em Paralelo de Informação Distribuída (PDP).

A Inteligência Artificial pressupõe que os estudos cognitivos têm como base o processamento simbólico e serial. Com o desenvolvimento do computador, encontrou neste a ferramenta ideal para o seu desenvolvimento.

Por outro lado, os modelos de redes neurais, com processamento em paralelo e distribuído, experimentaram um desenvolvimento mais lento. Destacamos aqui os estudos que marcaram a tendência dos modelos de processos cognitivos baseados na arquitetura do cérebro humano.

Em 1949, Hebb apresentou a hipótese de que os padrões comportamentais envolvendo, por exemplo, percepções visuais resultam principalmente da conexão de conjuntos de células. Os comportamentos mais complexos são originários de reuniões de células por ele denominadas “sequência de fases”. No caso das percepções visuais, estas dependem de estruturas específicas do cérebro que, por sua vez, dependem de construções mais complexas ou sequências de fases. Por outro lado, Hebb sugere que a aprendizagem no início da vida é mais flexível porque pode ocorrer em vários lugares do cérebro. Com a maturidade, o sistema perde plasticidade e a aprendizagem dependerá de estruturas já formadas (Gardner, 1995, p.286-7).

A teoria de Hebb, juntamente com o modelo neuronal apresentado por McCulloch e Pitts, constituem a base do trabalho atualmente desenvolvido nas redes neurais. Em 1962, Rosenblatt (Beale & Jackson, 1994, p.44) desenvolveu o primeiro modelo de rede neural inspirado na estrutura neuronal e com capacidade de aprendizagem.

Essa primeira concepção do modelo de rede neural artificial foi

denominado *Perceptron*. Com o trabalho de Rosenblatt, consolidaram-se as duas tendências dos estudos cognitivos: um modelo neuronal composto de unidades neurônio-símile (UNS) ativadas ou desativadas e um modelo lógico, com representação simbólica e processamento sequencial.

Em resumo, para alguns historiadores da Ciência Cognitiva foi o *Simpósio Hixon*, em 1948, que marcou o nascimento da nova ciência. Para outros, foi o Simpósio sobre a *Teoria da Informação* realizado em 1956. Independente da data, a Ciência Cognitiva foi consolidada por trabalhos realizados em várias áreas do conhecimento. Foi criada sob a tese da capacidade representacional e computacional da mente e o computador torna-se então a principal ferramenta de apoio para verificação de hipóteses e teorias dos estados cognitivos humanos.

O desenvolvimento científico até a década de 60 consolidou as duas linhas de pesquisas que têm como base o modelo neuronal e o modelo lógico. Correntes estas que se diferenciam tanto na concepção de princípios de aprendizagem quanto nos métodos para o estudo do conhecimento. A caracterização das diferentes linhas de pesquisa em Ciência Cognitiva será retomada na seção II.5 desse capítulo.

A seguir, discutiremos alguns dos pressupostos básicos da Ciência Cognitiva na investigação da natureza do conhecimento humano.

II.2 - OS PRESSUPOSTOS BÁSICOS DA CIÊNCIA COGNITIVA.

Os trabalhos e estudos realizados no âmbito da Ciência Cognitiva normalmente devem atender a alguns pressupostos considerados básicos pela

maioria dos pesquisadores cognitivos.

Conforme Gardner (1995, p.20), para que um empreendimento científico seja considerado um trabalho da Ciência Cognitiva, deve possuir algumas das seguintes características: (1) Falar sobre representações mentais e criar um nível de análise biológico separado do sociológico ou cultural. (2) Considerar o computador eletrônico essencial para a compreensão da mente humana. (3) Não enfatizar certos fatores individuais que podem ser importantes para o funcionamento cognitivo particular de um organismo. (4) Entender que há muito a se ganhar com os estudos multidisciplinares. (5) Possuir a agenda de questões relevantes para a tradição filosófica ocidental.

Gonzales (1991) não considera como básicos todos os (cinco) pressupostos citados por Gardner. Em particular, ela ressalta que a característica (1) acima (que defende a separação entre o biológico e o social na análise do mental) não deve ser entendida como um pressuposto básico para a Ciência Cognitiva uma vez que os conexionistas, por exemplo, dão grande importância ao elemento físico-biológico nos seus estudos do mental. Para a autora, a maioria dos trabalhos da Ciência Cognitiva baseia-se em três suposições: (1) O estudo do conhecimento humano requer a investigação das capacidades representacional e computacional da mente. (2) Tal estudo possui característica multidisciplinar. (3) Os computadores constituem instrumentos úteis no estudo da mente humana.

Apesar das diferenças entre os autores, consideramos que a classificação realizada por Gonzales resume o pensamento da maioria dos pesquisadores cognitivos da atualidade.

O pressuposto (1), da classificação de Gonzales, conforme vimos nas seções anteriores, tem origem nos debates sobre o conhecimento realizados durante a Idade Média e início da Era Moderna. Descartes foi o primeiro filósofo a argumentar, sistematicamente, que o conhecimento humano dos objetos e coisas do mundo exterior é sempre mediado por representações mentais. As questões dos estados e representações mentais são ainda hoje objetos de estudo dos pesquisadores cognitivos, que procuram reunir também os elementos e vocabulário computacional de análise.

A concepção de Descartes quanto à estruturação do pensamento através de representações fundamentou a corrente representacionista. Os representacionistas defendem a existência dos estados mentais que representam e/ou codificam os estados do mundo. Essa intermediação da mente com o meio ambiente seria então executada por entidades abstratas que possuem uma estrutura e que se relacionam entre si formando novos pensamentos ou conhecimentos.

Para o Representacionismo, as representações mentais têm a função de mediar as relações do sujeito com o meio ambiente. As representações mentais, para esta vertente filosófica, são entidades abstratas que podem ser analisadas de forma independente dos elementos físicos e possuem regras também abstratas para a combinação de seus elementos. Os representacionistas consideram que a essência representacional da mente é a manipulação de símbolos, executada por uma linguagem do pensamento, com estrutura sintática e semântica.

Um dos principais representantes da corrente representacionista foi o neurologista David Marr, para quem o pensamento deve ser entendido tanto

no plano abstrato como no plano físico. Ele defendia uma teoria que considerava os problemas reais envolvidos na percepção dos objetos. O caminho para o entendimento da percepção seria via computador, e seu modelo continha três níveis de análise: (1) *computacional*, com a função de explicar como os processos são executados dada a informação disponível na imagem; (2) *algorítmico*, processo formal para a transformação de símbolos, explicando como o processo funciona; e (3) *de implementação do algoritmo*, onde o processo é fisicamente realizado (Gardner, 1995, p. 314-6).

Em contraposição ao Representacionalismo, aparece a corrente eliminativista. Pesquisadores dessa linha propõem a tese de uma relação direta entre o sujeito e o meio, sem nenhum tipo de representação mental intermediando essa relação. A percepção estaria diretamente ligada aos estados do organismo e os elementos invariantes do mundo. Para o Eliminativismo, a percepção é um sistema dinâmico, cuja organização depende da relação que se estabelece entre o sujeito e o meio. Além disso, essa organização depende também dos padrões que o organismo é capaz de captar, conforme seu estado evolutivo.

Segundo Gonzales (1991, p.99), a corrente connexionista pode ser posicionada entre a corrente representacionalista e a corrente eliminativista. Os connexionistas concordam com a teoria representacionalista aceitando a noção de representação mental nos atos cognitivos e perceptuais. Com os eliminativistas, os connexionistas julgam fundamentais as informações sobre a interação entre o organismo e o meio ambiente nos estudos da percepção e cognição.

Entretanto, conforme Gonzales, a noção de representação mental

do modelo conexionista difere da noção representacionalista tradicional pois ela possibilita à rede neural realizar inferências mesmo sem regras preestabelecidas. As regularidades físicas envolvidas nas inferências do sistema fazem com que a rede comporte-se como se possuísse regras (Gonzales, 1993, p.138).

Assim, no Conexionismo, o estudo dos níveis de organização mental é realizado a partir de bases neurológicas e informacionais. A base hierárquica das representações possíveis é constituída por conteúdos mentais pré-representacionais ou subsimbólicos. A natureza intencional desse tipo de “pensamento” básico é dada por fatores contextuais que compõem circunstâncias da ocorrência desses pensamentos.

Enfim, apesar de diferirem quanto à abordagem e natureza das representações, ambas as correntes da Ciência Cognitiva se declaram representacionalistas.

Outro aspecto dos estudos cognitivos da nova ciência é fornecido por um segundo pressuposto básico: o aspecto multidisciplinar. Esse pressuposto provém da suposição que o conhecimento desenvolvido nas várias áreas da ciência pode contribuir para o entendimento dos estados mentais.

A Ciência Cognitiva, inicialmente, foi representada por um hexágono composto pelas disciplinas: Psicologia, Inteligência Artificial, Filosofia, Linguística, Antropologia e Neurologia (Gardner, 1995, p.52). Contudo, a participação e importância de cada Ciência na composição da Ciência Cognitiva é objeto de controvérsia entre os pesquisadores da área.

No hexágono apresentado na figura 1, as linhas pontilhadas,

segundo Gardner (1995), demonstram os vínculos mais fracos entre as áreas de conhecimento. Por sua vez, as linhas contínuas representam as ligações mais fortes. Assim, os vínculos mais fracos da Filosofia seriam com a Inteligência Artificial, Antropologia e Neurociência. Em relação à Filosofia, existem algumas linhas de pensamento que defendem a tese de que a Filosofia desempenha um papel unificador e normativo na nova ciência.

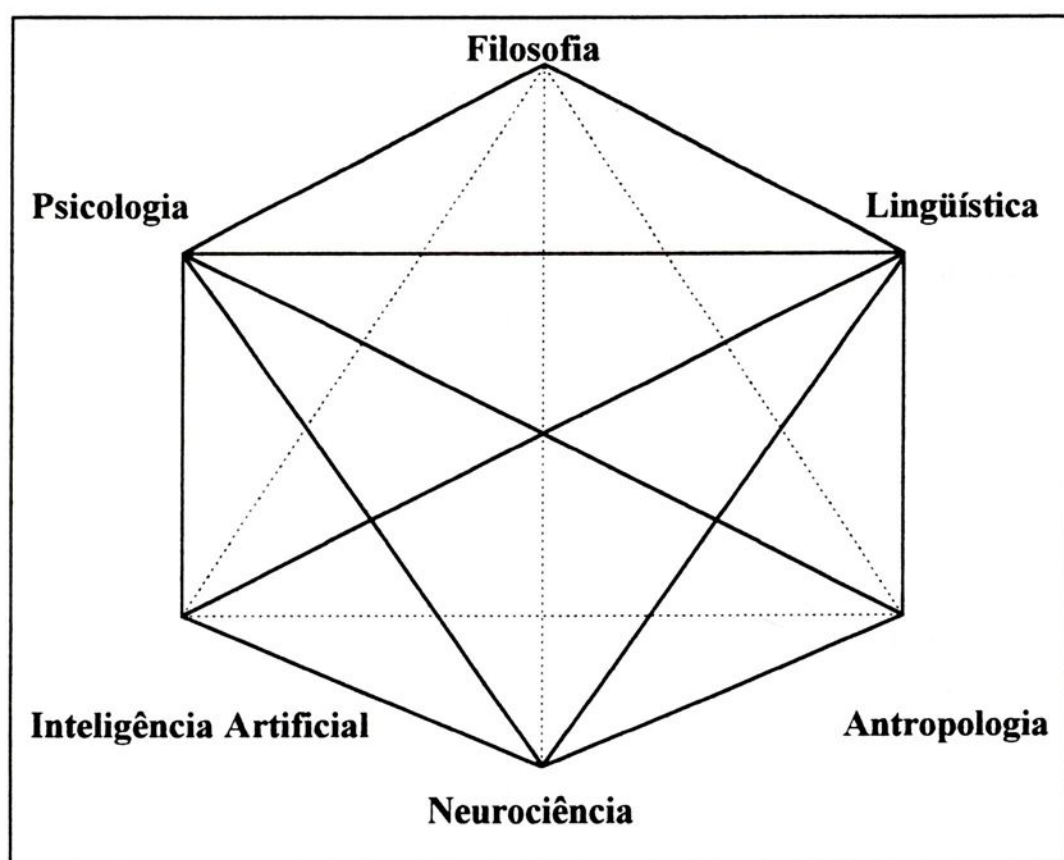


Figura 1 - O caráter multidisciplinar da Ciência Cognitiva (Gardner, 1995, p.52).

Em *O que são Ciências Cognitivas*, publicado por Soares (1993, p.16-7), encontra-se uma nova versão do hexágono, conforme na figura 2. Essa

versão foi apresentada em 1986 e contém algumas alterações: a Epistemologia substitui a Filosofia, as Ciências Sociais são apresentadas no lugar da Antropologia e as Ciências da Computação substituem a Inteligência Artificial.

Essa nova concepção, a nosso ver, amplia as ligações interdisciplinares e considera que todos os desenvolvimentos da Ciência da Computação, e não apenas na área da Inteligência Artificial, podem colaborar com a formação da nova ciência.

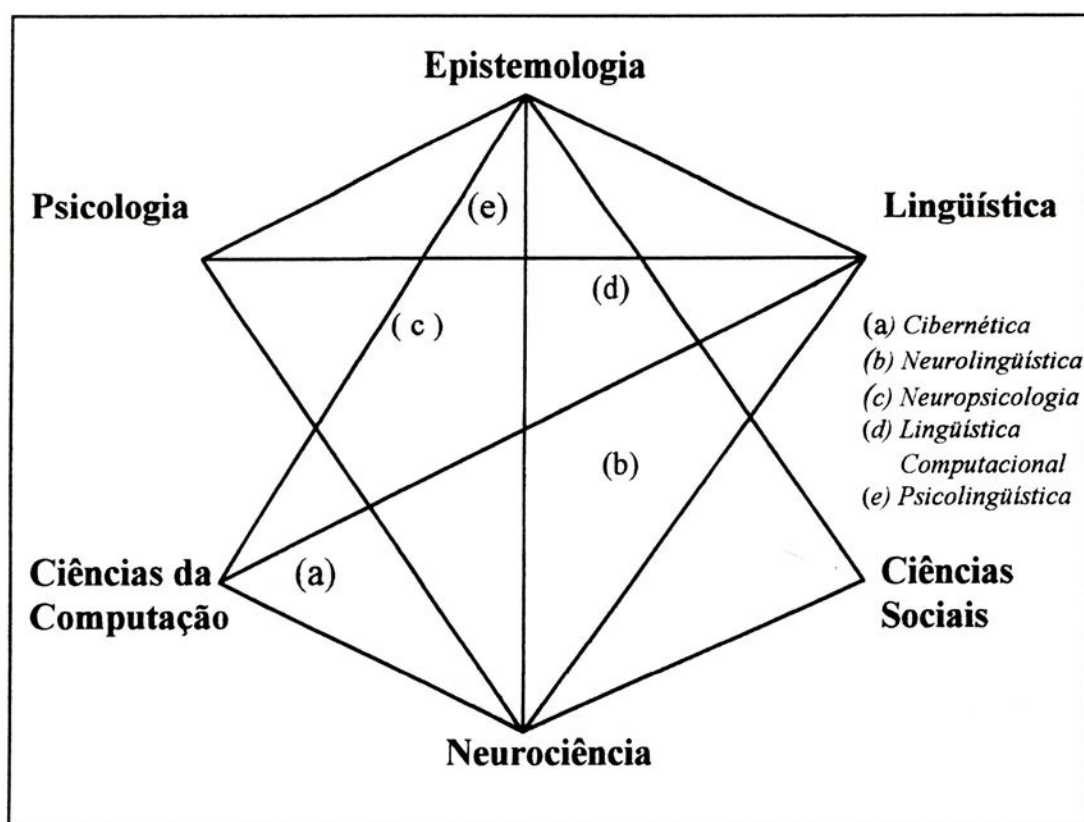


Figura 2 - Nova representação da multidisciplinaridade da Ciência Cognitiva (Soares, 1993,p.16.)

Já o terceiro pressuposto básico da Ciência Cognitiva surgiu inicialmente nos trabalhos de Turing sobre máquinas digitais. Desde a exposição

das idéias de Turing, os cientistas entenderam que, se for possível descrever com precisão o processo de pensamento, pode-se programar um computador que opere segundo esse processo. Essa suposição é criticada por alguns cientistas cognitivos, que sugerem que as máquinas e o homem são muito diferentes para que se possa estudar os processos humanos através de modelos computacionais. Mas o uso do computador no estudo dos processos cognitivos tem mostrado a sua conveniência como instrumento de teste de teorias sobre a estrutura dos estados mentais.

Em resumo, os pressupostos básicos da Ciência Cognitiva possibilitaram o desenvolvimento de modelos e teorias computacionais sobre os estados cognitivos. Os cognitivistas têm concentrado seus esforços no estudo da natureza das representações mentais, bem como no entendimento de características especiais da mente como memória e inteligência, nos processos de abstração e generalização de conceitos, nas características do comportamento racional e outros aspectos que envolvem aprendizagem. A agenda de estudos cognitivos desafia a compartimentalização do saber, enfatizando a sua complexidade e valorizando a interdisciplinaridade no estudo da cognição. Ao mesmo tempo revela, por sua amplitude, que muito tempo será ainda necessário para desvendar a natureza do conhecimento humano e que a perspectiva multidisciplinar deverá ser fortalecida.

A seguir, discutiremos o modelo computacional utilizado por pesquisadores cognitivos nos testes de suas hipóteses sobre as capacidades representacional e computacional da mente. Inicialmente colocaremos uma concepção genérica dos métodos de pesquisa científica e depois discutiremos os níveis de abstração envolvidos no modelo computacional.



II.3 - A TÉCNICA DE MODELAGEM

O *mundo real*², constituído por seres, fatos, sentimentos e crenças, entre outros, sempre se apresenta de forma complexa. Na tentativa de se entender a complexidade do mundo foram criados métodos para análise e formulação de teorias de como se comportam as entidades no meio ambiente.

O primeiro método utilizado para análise científica foi a indução. Esse método parte da observação dos fatos para formulação de uma teoria cuja validação é efetuada através de experimentos. Segundo Morin (1996, p.39), o problema da indução está ligado ao da verificação, nem sempre suficiente para ser aprovada como lei universal.

A certeza teórica, ainda segundo o autor, só pode ser obtida pelo método dedutivo. Em geral, os dados nos quais se baseiam as teorias científicas são objetivos, e essa objetivação pode ser contestada (ou não) pela verificação. Uma teoria nem sempre é objetiva, isto é, nem sempre é um reflexo da realidade. Ela pode ser considerada uma construção da mente, uma construção lógico-matemática que permite uma concepção de como as coisas acontecem no mundo.

Ferguson (1972, p.4-6) coloca que, para análise dos modelos em geral, podem ser utilizados dois métodos: dedutivo e estatístico. Esses métodos, à primeira vista conflitantes, são considerados por alguns pesquisadores como complementares. O autor considera que um problema específico, ou a vontade de compreender, motiva a investigação do mundo real para o domínio da lógica. Por

² O emprego do termo "mundo real" é feito aqui a partir da concepção do senso comum. Não pretendemos em nenhuma circunstância nos referir à realidade última do mundo.

meio de abstração teórica, “espera-se reduzir a complexidade de mundo real a proporções manejáveis”. O resultado é um modelo lógico presumivelmente apto a explicar o fenômeno observado. Pela argumentação lógica atingem-se as conclusões lógicas ou as do modelo. Estas devem ser transformadas, pela análise teórica, a partir de dados sobre o mundo real.

No método estatístico, o ponto de partida é, em geral, a abstração experimental. Por um processo de simplificação, constrói-se um modelo estatístico, que é utilizado na análise do mundo real. As observações fornecem conclusões sobre esse mundo. Os esquemas de raciocínio dedutivo e raciocínio estatístico são apresentados na figura 3.

Outro método, introduzido por Pierce, é denominado abdução e parte da consideração de que o raciocínio indutivo e dedutivo não são suficientes para o desenvolvimento da ciência (Dutra, 1996). O método da abdução permite a invenção de hipóteses explicativas para caracterizar os fatos. Este método consiste em elaborar uma operação lógica que permite a introdução de novas idéias. Pelo raciocínio abdutivo testa-se uma suposição teórica que é tomada como verdadeira temporariamente. À partir das hipóteses, testam-se as suas conseqüências, mesmo que não se demonstre a validade das suposições.

Independente dos métodos utilizados, lembramos aqui a importância dos instrumentos técnicos ou tecnológicos no desenvolvimento da ciência, em particular, da Ciência Cognitiva. Segundo Morin (1996), se, por um lado, o desenvolvimento da ciência permite o da tecnologia, por outro a tecnologia contribui para o desenvolvimento da ciência. O processo é circular e dinâmico.

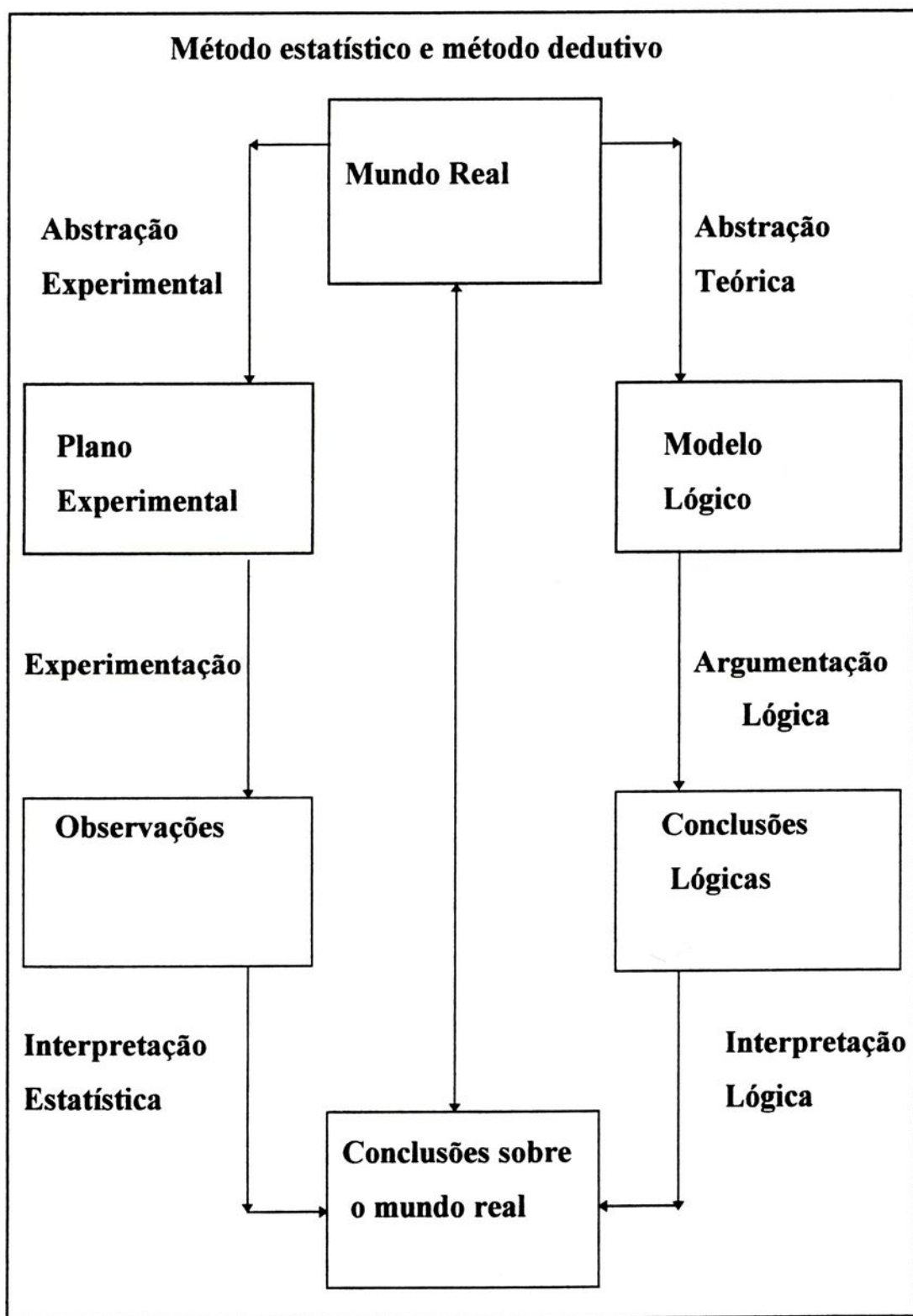


Figura 3 - Complementaridade do método dedutivo e estatístico (Ferguson, 1972, p.5).

No caso da Ciência Cognitiva, foi o desenvolvimento da tecnologia que permitiu algumas verificações de hipóteses e teorias. Os computadores e outras tecnologias equipam os laboratórios e permitem verificações empíricas das hipóteses acerca da natureza dos processos mentais.

De uma forma geral, os modelos científicos trazem a idéia de que pode ser realizada uma análise detalhada de como um fato se apresenta no mundo real e, desse fato, podem ser abstraídas suas relações essenciais. Essas relações essenciais para a existência do objeto em estudo é que farão parte integrante na composição do modelo. Segundo Dupuy (1996, p.24-5), como o modelo é uma forma abstrata, adquire vida própria e dinâmica autônoma e, portanto, é mais controlável que a complexidade do mundo tal como ele se nos apresenta. Com a autonomia existe o perigo de que o modelo se torne objeto exclusivo da atenção dos pesquisadores, perdendo assim o seu vínculo com o objeto em estudo. Mesmo assim, Dupuy considera que os modelos já demonstraram a sua validade no desenvolvimento das ciências.

Pesquisadores cognitivos, cientes da dificuldade de elaborar algoritmos que descrevam as capacidades humanas, desenvolvem modelos onde a cognição pode ser vista como um sistema de relações, regras e manipulações de leis gerais sobre as representações mentais. As representações mentais podem ser entendidas, nesta perspectiva, como emergentes do próprio sistema.

Conforme mencionamos no capítulo I, a verificação e os testes dos modelos teóricos da Ciência Cognitiva envolvem metáforas computacionais. Dos precursores modernos da tecnologia herdamos a noção de que o estudo dos



estados cognitivos requer a investigação das capacidades representacional e computacional da mente. O computador tornou-se um instrumento de trabalho indispensável para o tratamento da cognição, em particular, na busca de soluções para os problemas da relação mente e corpo.

Conforme Gardner (1995, p.314-6), uma primeira concepção do modelo computacional foi proposto por David Marr. O modelo concebido por Marr, como já vimos na seção II.2, é composto por três níveis de análise: (1) computacional; (2) algorítmico; e (3) de implementação do algoritmo.

No primeiro nível ocorre o entendimento de *como* se processa um conjunto de operações básicas para realização de uma tarefa. O segundo nível envolve uma representação para o *input* e o *output* do processo e a *formulação de um algoritmo* que realizará a tarefa estabelecida. Nessa etapa descreve-se o procedimento formal das operações envolvidas nessa tarefa. O terceiro diz respeito ao dispositivo que deverá ser realizado fisicamente para *implementar* os níveis anteriores. O mesmo algoritmo pode ser implementado em tecnologias diferentes.

Esse procedimento mostrou que o maior grau de complexidade estaria principalmente no primeiro nível. O segundo e terceiro nível são etapas experimentais e que não apresentam muita dificuldade se o modelo computacional (1) for definido de forma completa e consistente.

Outra questão referente à análise dos modelos computacionais é a perspectiva de análise adotada. A perspectiva *top-down* ou descendente tem como princípio a análise dos conceitos mais gerais, sendo anterior à análise dos elementos pré-conceituais ou mais particulares. Por outro lado, a perspectiva



bottown-up ou ascendente faz o caminho inverso. À partir dos elementos pré-conceituais ou mais particulares, procura-se a caracterização ou entendimento dos conceitos mais gerais. O uso da perspectiva ascendente ou descendente depende do tipo problema a ser analisado.

Além dessas perspectivas de análise, os modelos computacionais envolvem vários níveis de abstração. Como exemplo, apresentamos uma estrutura do método computacional elaborada por Setzer (1986; Kishino, 1991). Essa estrutura é composta por um primeiro nível, representado pelo mundo real, e quatro níveis de abstração ou derivação, como ilustrado na figura 4.

No segundo nível, um *modelo descritivo* é elaborado através de uma análise do mundo real. Dele são abstraídas as principais características e as informações que descrevem a função que se deseja reproduzir ou caracterizar, sem preocupação com formalismos matemáticos. Essa fase baseia-se nas observações do objeto em estudo, a partir das quais são estruturados os elementos relevantes ao modelo.

Num terceiro nível de abstração, é elaborado um *modelo conceitual*, o qual deve conter as relações e informações formais, conforme hipóteses iniciais, passíveis de representação matemática. O objeto em estudo é transformado em expressões lógicas e matemáticas cujo conjunto deve representá-lo ou caracterizá-lo. Nessa etapa não serão considerados relevantes os aspectos operacionais como, por exemplo: equipamentos, linguagem de programação, sistema operacional, etc. Assim, o modelo conceitual tem a finalidade de descrever as estruturas informacionais e as relações fundamentais entre elas.

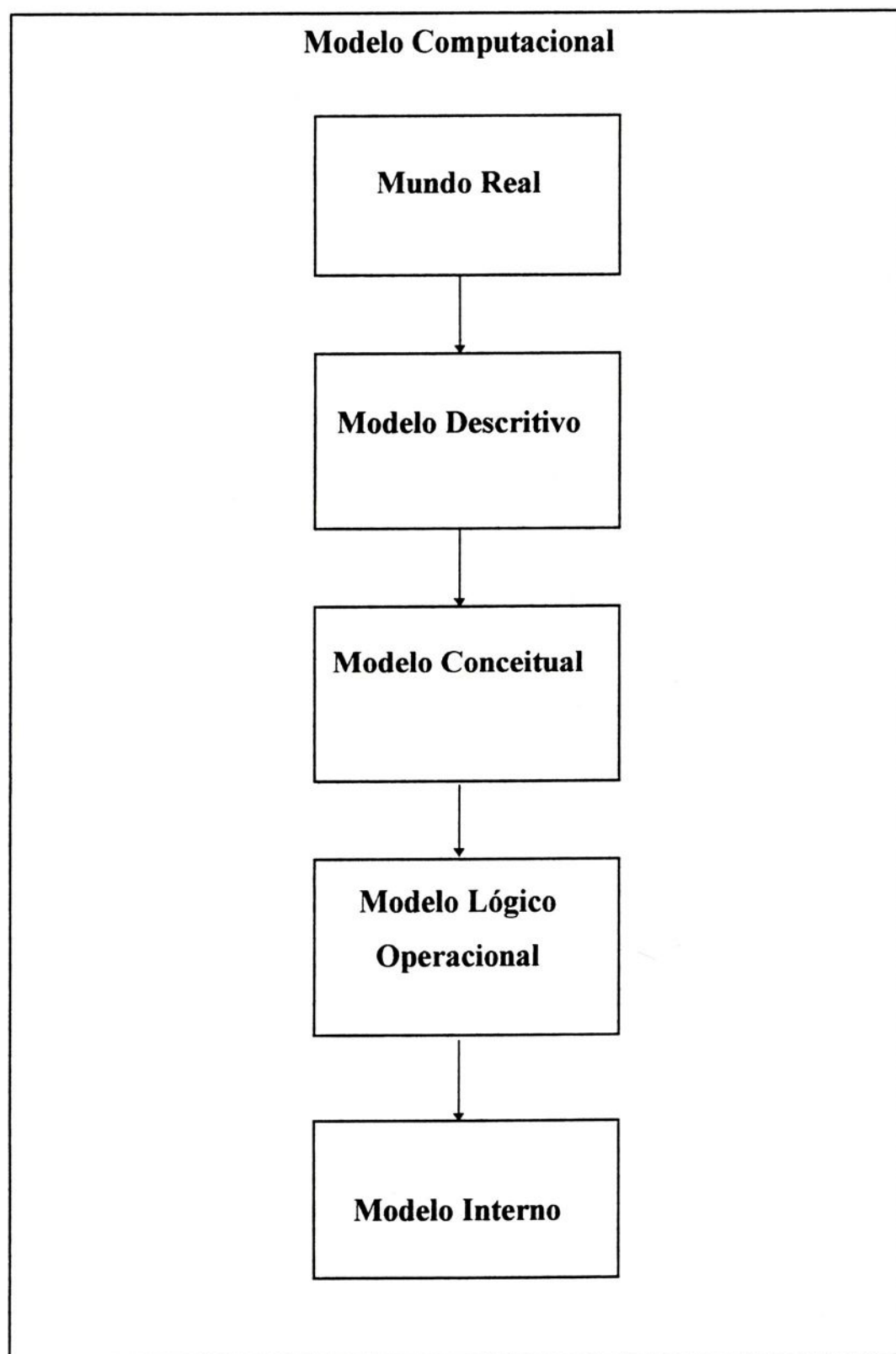


Figura 4 - Método Computacional (Setzer, 1986, p.2).

O modelo conceitual pode ser considerado como o modelo final porque deve conter todas as relações necessárias para representar o fato em estudo e comprovar as hipóteses.

No entanto, o uso da metáfora computacional para comprovar e testar o modelo conceitual exige mais dois níveis de abstração, após a definição do modelo descritivo e do modelo conceitual.

No quarto nível de abstração, o *modelo lógico ou operacional* é elaborado, no qual a preocupação deve ser dirigida à eficiência computacional ou de processamento. Seu principal objetivo é verificar todos os componentes computacionais para o tratamento das informações formais e a manipulação das informações que serão fornecidas ao sistema.

No último nível de abstração temos o *modelo interno* da máquina, isto é, as representações das informações e dos programas no computador, em seus circuitos lógicos.

Dupuy (1996) considera que, como o objeto principal da Ciência Cognitiva é o estudo do conhecimento, o modelo computacional segue o princípio de que "... conhecer é produzir um modelo do fenômeno e efetuar sobre ele manipulações ordenadas". Ele também considera que a este princípio falta a relação inversa e pela qual a metáfora do computador é válida:

"Assim como se pode descrever em termos lógicos certos sistemas materiais, inversamente esses sistemas materiais podem ser representados como realizando, ou até encarnando a lógica, essa forma superior de pensamento" (Dupuy, 1996, p.27-8).



Conforme veremos no capítulo IV, a adequação do modelo computacional para os estudos da mente é um fator de discordância no meio filosófico-científico porque alguns estudiosos acreditam que a concepção computacional da mente não é adequada para a simulação dos processos mentais humanos. Se considerarmos a mente como um sistema de *relações funcionais*, responsável pelo conhecimento, o modelo que o representa será lógico-matemático ou neurológico-matemático. O computador entra então como ferramenta indispensável para a verificação do modelo.

A seguir, discutiremos a perspectiva funcionalista da mente adotada nos modelos computacionais da Ciência Cognitiva.

II.4 - A PERSPECTIVA FUNCIONALISTA DA MENTE

A perspectiva funcionalista da mente tem como seu principal fundador o filósofo Putnam. Em 1960, ele apresentou um conjunto inovador de noções sobre a natureza dos computadores e suas implicações para análise da estrutura do pensamento. Putnam, filósofo com formação matemática, considerava que o computador foi importante porque conduziu à idéia de organização funcional. Através do emprego dos computadores levantou-se a hipótese que muitos processos chamados de pensamento podiam ser executados por mecanismos (Gardner, 1995, p.46).

Putnam defendeu inicialmente a idéia que a identidade entre homens e máquinas não estaria no *hardware* das máquinas digitais, mas sim no *software*. Assim, o estudo do pensamento deverá ocorrer num nível funcional, no

plano abstrato. Um nível que focaliza os fins da atividade cognitiva, os meios de processamento, as etapas de cada tarefa, a avaliação da etapa e outros aspectos.

O funcionalismo pretendia tratar o problema mente/corpo e mostrar que é legítimo falar de eventos mentais e postular a causalidade entre eventos. Isso sem tomar posição quanto à questão sobre a exclusividade (ou não) dos eventos cerebrais de possuírem as propriedades necessárias para definir estados mentais.

Os eventos mentais nos seres humanos são considerados pelo funcionalismo como eventos psicológicos não sendo necessário reduzi-los ao plano neurofisiológico. Contudo, o funcionalismo admite um nível de explicação que conecte a Psicologia à Neurologia, bem como um segundo nível que conecte a Psicologia a fatores sociais e um terceiro nível independente dos anteriores, que se denomina “representacional”.

Na Ciência Cognitiva, o estudo dos processos cognitivo-informacionais envolvidos na formação das representações mentais, adotam a tese funcionalista. O funcionalismo considera que, apesar da diferença entre seres humanos e máquinas, ambos possuem capacidade de processar informação.

Uma posição diferente da tese funcionalista de Putnam foi apresentada por Dennett (Gardner, 1995). Para Dennett, o funcionalismo da máquina de Turing sugeria que todos os indivíduos possuíam o mesmo programa. Assim, ele adotou uma postura onde explica o que os indivíduos têm em comum psicologicamente, sem que sejam a realização de alguma máquina de Turing.

O conceito de sistema intencional foi criado por Dennett para

legitimar descrições mentais, considerando a intencionalidade como marca do mental. Para Dennett, todo fenômeno mental pode ser descrito em termos de sistemas intencionais que possuem racionalidade e propósito.

Já o pesquisador Fodor, segundo Gardner (1995), defendeu a existência das representações mentais que estruturam o pensamento, mas rejeitou a tese da mente como espelho da natureza e o reducionismo. Defendeu a existência de uma linguagem do pensamento, extremamente rica, para poder executar os processos cognitivos. Colocou a idéia de que a linguagem do pensamento é inata: as pessoas nascem com um conjunto completo de representações sobre as quais mapeam novas informações.

Para Fodor, se os sistemas cognitivos envolvem a manipulação de representações do tipo simbólico, então estas representações devem existir em algum lugar e serem manipuladas de alguma forma. Para ele, deve existir alguma forma na qual os conteúdos do mundo sejam representados mentalmente. Os pensamentos envolvem representações dos objetos do mundo e o estudo da cognição deve envolver um caráter mentalista.

O funcionalismo foi adotado pela Ciência Cognitiva como abordagem ao problema mente/corpo. Essa abordagem sugere que, nos processos cognitivos, pode-se fazer abstração da instanciação física ou biológica, e que os processos cognitivos podem ser descritos em termos de organização funcional da mente. O funcionalismo se posiciona entre o dualismo cartesiano e o reducionismo behaviorista ou neurofisiológico. Supõe que os estados mentais são caracterizados por suas inter-relações funcionais, que podem ser instanciados nos mais diversos

materiais e não somente no cérebro humano.

O cérebro é entendido pelos cognitivistas como agente da cognição, mas sob dois enfoques diferentes. Os funcionalistas consideram que o cérebro é responsável pelas funções da mente, sem necessariamente identificar a mente ao cérebro. Já os cognitivistas reducionistas consideram a mente idêntica ao cérebro. Estes enfoques acerca da relação mente/cérebro nem sempre têm limites bem definidos. Para o funcionalismo, o cérebro é um órgão complexo onde os fenômenos de interação não obedecem regras de composições simples e os fenômenos emergem da relação entre as partes. Assim, existe a consideração de relações funcionais emergentes. Para alguns autores, também funcionalistas, a mente é concebida como um agregado de uma classe de símbolos primitivos, um alfabeto e uma classe de categorias básicas que geram os pensamentos.

Alguns pesquisadores defendem posições intermediárias, isto é, modelos mistos, nos quais o cérebro humano processa informação tanto na forma simbólica-serial como na forma subsimbólica-paralela e distribuída, dependendo do nível em que se dá a cognição.

Existem duas correntes funcionalistas: o funcionalismo lógico-computacional, representado pela Inteligência Artificial, e o funcionalismo neurocomputacional, representado pelo Conexionismo. Na seção seguinte, discorreremos sobre estas duas vertentes funcionalistas nos estudos cognitivos.

II.5 - AS CORRENTES FUNCIONALISTAS DA CIÊNCIA COGNITIVA.

O funcionalismo lógico-computacional estabelece uma relação

entre pensamento e computabilidade. Como ponto de partida, é adotada a noção de que computar é manipular símbolos através de regras, independente do significado associado a tais símbolos. O maior problema, para pesquisadores interessados em simular atividades mentais nos modelos computacionais, é mostrar como os símbolos (destituídos de significado - com os quais a máquina opera) adquirem significado na simulação computacional.

Para o funcionalismo lógico-computacional, os estados cognitivos são entendidos como entidades simbólicas, abstratas, que podem ser estudadas de forma independente de suas características físicas.

Conforme Gonzales (1991, p.96-8), o funcionalismo lógico-computacional é um pressuposto básico da abordagem representacionista da Inteligência Artificial. Esta trata as formas de representar o conhecimento por meio de símbolos e de regras abstratas. Seu objetivo é produzir, em máquinas lógicas, um padrão de saída considerado inteligente quando exibido por um ser humano. A maioria dos pesquisadores vêem o programa como um teste de uma teoria específica sobre como funciona o processo cognitivo.

As linhas mais comuns de pesquisa são: generalistas e especialistas. Os generalistas acreditam em programas abrangentes que podem ser aplicados a quase todos os tipos de problemas. Já os especialistas trabalham com problemas de áreas específicas.

A limitação desses sistemas simbólicos em lidar com novas situações, bem como a necessidade de máquinas com grande capacidade de memória fizeram surgir novos paradigmas para os estudos dos processos

cognitivos. O cérebro, com um número bem menor de neurônios, parece ter faculdades que não podem ser simuladas por poderosas máquinas sequenciais. A Ciência Cognitiva volta-se então para o desenvolvimento de modelos para simular os estados mentais, com uma concepção mais próxima da estrutura do cérebro e com processamento distribuído em paralelo. Muitos desses modelos, no entanto, são simulados em máquinas sequenciais do tipo von Neumann, visto que as máquinas conexionistas ainda não são comercializadas em grande escala.

A ênfase nos aspectos físicos da cognição dá lugar ao funcionalismo neurocomputacional, adotado pelos conexionistas, que consideram a organização e estrutura dos substratos físicos na elaboração dos seus modelos da mente. Os modelos conexionistas ressaltam a importância dos aspectos adaptativos dos sistemas cognitivos.

A corrente funcionalista neurocomputacional questiona o caráter formalista associado à visão computacional tradicional da mente. Essa corrente acredita que a relação entre mente e cérebro não é análoga à relação entre *software* e *hardware* em máquinas digitais. O modelo conexionista defende que a maioria das funções cognitivas pressupõe um processamento paralelo e distribuído, baseado na estrutura do cérebro humano. O Conexionismo considera que o significado das atividades cognitivas está associado a um estado global da rede neural, eliminando-se a distinção entre forma e significado. Adota também o estudo microscópico da cognição no plano, em contraste com os modelos da Inteligência Artificial, que adotam o estudo macroscópico, através dos elementos abstratos e simbólicos do sistema cognitivo.

Segundo Gonzales (1991), os conexionistas consideram que a mente não está dissociada do cérebro, ao contrário, deve ao cérebro sua natureza, suas leis e sua semântica. Nas redes neurais, o processamento de informação se baseia em dinâmicas onde a estrutura da memória resulta de estados de conexão entre as unidades *neurônio-símile* como resultado de uma estabilidade alcançada após aprendizagem e treinamento.

O problema da representação mental nesses modelos não se restringe às bases hierárquicas das representações mentais e aos níveis subsimbólicos ou pré-conceituais da estrutura do pensamento. Considera-se também o caráter significativo que as estruturas mentais possam adquirir em sua manifestação local no cérebro, levando em conta o contexto em que o sistema atua (Gonzales, 1991).

A proposta dos modelos conexionistas ou de redes neurais é simular a forma de funcionamento da mente humana para verificar quais são os níveis subsimbólicos das representações mentais, necessários à aprendizagem e ao reconhecimento de padrões. As representações são caracterizadas no nível subsimbólico pelas unidades *neurônio-símile* que as originaram. As redes neurais realizam inferências mesmo sem regras abstratas estabelecidas através da atividade de complementar padrões. As regularidades físicas envolvidas nas inferências do sistema faz com que a rede comporte-se como se possuísse regras.

Podemos considerar que uma das principais diferenças entre o modelo lógico-computacional, da Inteligência Artificial tradicional, e o modelo conexionista diz respeito à natureza das representações mentais. Enquanto na

Inteligência Artificial examina-se o processo de cognição nos mais altos níveis da estrutura do pensamento, com as representações mentais tratadas como símbolos abstratos, sem consideração do meio ambiente, o Conexionismo trata as representações como estruturas emergentes da ativação das unidades *neurônio-simile* que são as unidades básicas do processamento de informação. Estas estruturas vão se combinando através de leis físicas e de mecanismos de aprendizagem que lhes permitem se auto-organizarem em função da informação do meio ambiente. A corrente Conexionista enfatiza a relevância dos aspectos físicos, neurológicos e ambientais para o estudo e compreensão dos processos mentais.

Em resumo, nesse capítulo abordamos questões pertinentes as várias áreas que vieram constituir a nova ciência. Ressaltamos que a Ciência Cognitiva, oficializada na metade do século, possui duas perspectivas de estudo diferentes: um modelo neuronal e um modelo lógico.

Investigamos também nesse capítulo alguns dos pressupostos básicos observados nos trabalhos desenvolvidos na Ciência Cognitiva: (1) o estudo da mente requer investigação das suas capacidades representacional e computacional; (2) o aspecto multidisciplinar, que tem como objetivo reunir os conhecimentos de várias áreas da ciência; e (3) os computadores constituem elementos úteis para testar e comprovar hipóteses cognitivas.

Consideramos também que em relação ao primeiro pressuposto da Ciência Cognitiva existem duas correntes opostas nos estudos da cognição: a representacionalista e a eliminativista. Numa posição intermediária, no tratamento da questão das representações mentais, situamos a corrente conexionista.

Pela importância da técnica de modelagem no desenvolvimento da ciência, revemos os principais métodos de estudo, as perspectivas de análise que podem ser utilizadas no desenvolvimento dos modelos e as etapas envolvidas num modelo computacional. Neste modelo, ressaltamos que a principal dificuldade está centrada no nível conceitual, devido à complexidade que envolve o estudo da natureza dos estados cognitivos.

Ressaltamos também que o modelo computacional serve como apoio fundamental para a Ciência Cognitiva na simulação ou caracterização dos estados cognitivos. Um modelo científico, neste contexto, pode ser entendido como um sistema de relações ou propriedades abstraídas do mundo real que possam representar um fato ou objeto de estudo. No caso dos estados cognitivos, o número de relações pertinentes é elevado e cada uma das relações pode apresentar diferentes graus de complexidade. Face a esse desafio, pesquisadores cognitivos acreditam que existe a necessidade de estudar separadamente algumas funções mentais básicas, como a capacidade de representação, estruturação da memória em tarefas específicas e outros, para possibilitar o entendimento de funções mentais mais complexas como inteligência, pensamento e sentimento.

Finalizando o presente capítulo, apresentamos a tese funcionalista da mente e as correntes de estudo que a adotam. Especial ênfase foi dada à tese funcionalista adotada pelos modelos conexionistas de redes neurais, onde as atividades cognitivas podem ser entendidas em termos de elementos estruturais do cérebro. Colocamos ainda os principais conceitos envolvidos nas técnicas do funcionalismo lógico-computacional e do neurocomputacional.



Instigados por um fluxo de energia química e sob a influência da estimulação sensorial, nós passamos nossas vidas por uma sucessão quase contínua de *estados epistêmicos*, de acordo com alguma dinâmica interna maravilhosa; e o processo é tal que, em geral, estados posteriores são de algum modo importante, superiores aos estados anteriores.

Churchland (In: Abrantes, 1993, p.180)

CAPÍTULO III

REPRESENTAÇÃO MENTAL E APRENDIZAGEM

INTRODUÇÃO

Uma das tarefas que o ser humano sempre utiliza na interação com o mundo é a classificação de objetos ou seres. Reconhecemos as pessoas, através dos traços fisionômicos, de características comportamentais e de outros aspectos como, por exemplo, tom de voz. No domínio dos objetos, estabelecemos classificações e aprendemos a reconhecer objetos de uma mesma classe mesmo quando o vemos pela primeira vez. Conseguimos generalizar as características mais importantes. Por exemplo, uma cadeira é assim classificada mesmo que se apresente de forma totalmente diversa: outra cor, outro formato, quebrada, inteira ou ainda quando a vemos parcialmente.

Essa capacidade de reconhecimento e classificação parece ser possível quando construímos conceitos ou representações mentais que nos possibilitam atribuir significado aos fatos do meio ambiente. Nesse sentido são estas estruturas que modelam nossa percepção da realidade. Os conceitos que construímos nem sempre dependem da existência do fato ou fenômeno no mundo. Uma das mais importantes funções dos conceitos é a possibilidade de estruturar o pensamento e permitir a comunicação, através de um vocabulário comum.

Recuperar informações, classificar e reconhecer são tarefas que realizamos a todo instante de forma rápida e eficiente. Mas essas tarefas



cognitivas, que à primeira vista nos parecem simples, são, na realidade, muito complexas. Para ilustrar a dificuldade, colocamos aqui, resumidamente o exemplo apresentado por Beale & Jackson (1994, p.15-6) sobre a capacidade de leitura.

Para ler um texto precisamos conhecer os caracteres utilizados, a composição fonética de cada sílaba, o significado de cada palavra e ainda o significado resultante da composição dessas palavras em uma frase, num parágrafo e no texto. Além disso, precisamos reconhecer o conteúdo de um texto independente do padrão de letra utilizado. O texto pode ser manuscrito ou impresso com vários tipos de letras. A complexidade de descrever como realizamos essas interações ou correlações aparece quando tentamos descrever todos esses processos num modelo computacional.

Para estudar a tarefa de reconhecer padrões, necessitamos rever algumas questões básicas envolvidas nesse processo: como a natureza das percepções e a formação de conceitos ou estruturas representacionais. Nesse capítulo, analisaremos inicialmente, na seção III.1, alguns aspectos gerais da percepção humana. Ainda nesta seção, colocaremos também as primeiras tentativas de *mensurar* a intensidade das percepções.

A seção III.2 complementa a seção anterior, com considerações sobre a importância da percepção visual: no processo de aprendizagem. Comentaremos também, nessa seção, os aspectos da percepção visual envolvidos nos modelos computacionais que simulam tal atividade.

A seguir, na seção III.3, abordaremos a questão da representação mental, na Ciência Cognitiva, discutindo sua natureza a partir do



ponto de vista conexionista.

Na seção III.4, caracterizaremos o processo de aprendizagem de conceitos considerando as seguintes etapas: discriminação, classificação e generalização. Reveremos ainda algumas das teorias que tentaram explicar a formação dessas estruturas: clássica, prototípica e uma nova corrente que defende uma concepção dialética dos conceitos.

Concluindo o capítulo, na seção III.5, discutiremos o processo de aprendizagem nos modelos de redes neurais. Em especial, abordaremos o processo de aprendizagem por ensaio e erro e o princípio de associação de idéias envolvido nesses modelos.

III.1 - O ESTUDO DA PERCEPÇÃO

Os estímulos do mundo externo são percebidos através dos órgãos responsáveis pela visão, audição, tato, olfato e paladar. Os impulsos são transmitidos ao sistema nervoso por intermédio do órgão apropriado dos sentidos e parecem estar sujeitos a um processo de filtragem.

A ocorrência da percepção leva também às seguintes considerações: (1) o sistema perceptivo parece ser de capacidade limitada; (2) recorremos a um processo de seleção devido à complexidade que envolve as percepções de uma ocorrência; e (3) existem fatores que determinam a seleção de sinais: a natureza dos estímulos que chegam, a probabilidade de suas ocorrências e as condições do indivíduo, incluindo suas expectativas e necessidades.

A percepção do mundo sugere uma relação de dependência com



as experiências passadas, cujo processo é reforçado pelas idéias, as imagens, as expectativas e atitudes. Parece também existir uma integração entre as percepções: não percebemos os fatos do mundo como processos separados.

Dois fatores importantes na seleção dos estímulos são: o processo de aprendizagem envolvido e a motivação. Isso significa que as percepções podem ser afetadas por nossos estados cognitivos e intelectuais, que nos levam a perceber os fatos do mundo exterior da forma que esperamos.

Segundo Stevens et. al. (1982), os estudos sistemáticos da percepção inicialmente foram voltados para a tentativa de mensurar a intensidade das sensações nos seres humanos. Nesta linha de pesquisa, destacaremos o trabalho do físico e filósofo Fechner que, em 1850, iniciou suas pesquisas com esse objetivo.

A inspiração inicial de Fechner foi o trabalho do filósofo alemão Werber, divulgadas em 1829. Werber descobriu que uma pessoa, sujeita a dois estímulos estritamente relacionados, não poderia perceber a diferença entre eles. Dois sons de intensidade diferentes são assim considerados apenas quando existir um som no mínimo vinte e cinco por cento mais intenso do que o outro. Se a intensidade for menor do que essa medida, a pessoa identificará os sons como idênticos (Stevens et al., 1982, p.80-4).

Nessa época, os físicos já haviam desenvolvido métodos *quantitativos* para medir as ondas sonoras, assim como os biólogos, os impulsos nervosos que levam ao cérebro a sensação do som. Mas era impossível medir a magnitude da sensação resultante e Werber pretendia apontar uma saída para essa

dificuldade. Ele conseguiu identificar algumas diferenças da percepção do som que denominou de *diferenças apenas perceptíveis* (dap).

Fechner, baseado nessa *unidade de medida*, pesquisou uma forma de medir a percepção, por meio da simples contagem do número de “daps” quando um estímulo era aumentado de zero para cima. Trabalhou nesse projeto durante dez anos. Em suas experiências, uma pessoa era submetida a julgar entre dois estímulos sensoriais. Fechner tentou estabelecer a diferença exata entre os estímulos para produzir uma unidade de sensação.

Em 1860, Fechner publicou *Elementos da Psicofísica*, que fundou a Psicofísica como ciência e serviu como base para pesquisas durante as gerações seguintes. Nessa publicação, chamou de *lei de Werber* a relação entre *estímulo* e *sensação*: enquanto os estímulos se multiplicam para maiores grandezas, as sensações aumentam por adição. A lei logarítmica que define que a sensação cresce como o logaritmo do estímulo ficou conhecida como *lei de Fechner* (Stevens et al., 1982, p.80-4).

Conforme Gardner (1995), o trabalho de Fechner foi importante pois gerou a expectativa de que aspectos pessoais podiam ter uma relação *quantitativa* com uma característica mensurável de um objeto do mundo e comenta:

“Fechner conseguiu demonstrar que, dentro de certos limites, a intensidade de uma sensação percebida varia conforme uma função logarítmica de aspectos objetivos do estímulo” (Gardner, 1995, p.115).

A Lei de Fechner não resistiu às pesquisas futuras e na década

de 30 foi desenvolvida uma nova escala que se ajustasse às estimativas que as pessoas fazem das sensações. Pesquisadores da Universidade Harvard desenvolveram um processo denominado cálculo de magnitude das sensações e definiram uma nova escala denominada escala de *sones* (da palavra som em latim).

Os estudos das percepções nas últimas décadas demonstraram que, no ser humano, os sentidos cooperam entre si e alargam-se mutuamente. Essa cooperação e interação dos sentidos também tem sido simulada na Ciência Cognitiva, através dos modelos de redes neurais artificiais, buscando entender como o cérebro humano processa os estímulos do mundo externo. Mas, segundo Gardner (1995), ainda existe a dificuldade de encontrar teorias aceitáveis que expliquem como ocorrem as percepções.

Existe também, segundo nosso entendimento, a dificuldade de analisar como e quando ocorre o aprendizado na percepção porque nem toda percepção parece envolver aprendizado. Além disso, o aprendizado, quando acontece na percepção, decorre da interação do organismo com o meio ambiente, através das experiências.

Em resumo, podemos dizer que os estudos da percepção humana motivaram tentativas de medir a intensidade das sensações a partir de uma relação quantitativa do sujeito com o mundo externo. Dessas experiências nasceram as primeiras escalas para medir a intensidade dos sons, das luzes, etc., e as primeiras experiências na tentativa de entender como o ser humano percebe o mundo. Essas expectativas obtidas são amplamente incorporadas nos modelos de redes neurais, como veremos no capítulo IV.



Os conexionistas investigam os mecanismos envolvidos nas percepções, que proporcionam a integração do organismo ao meio ambiente. Em especial, os modelos conexionistas envolvem alguns aspectos da percepção visual, como veremos a seguir.

III.2 - A PERCEPÇÃO VISUAL

Como vimos na seção anterior, existe a dificuldade de precisar quando ocorre aprendizagem na percepção visual. No entanto, para muitos pesquisadores cognitivos a percepção visual é considerada como um dos principais meios de aprendizagem em indivíduos normais. Alguns estudiosos, entre eles Piaget (1932), sugerem que o processo de aprendizagem e conseqüente construção de conceitos se inicia através da percepção. Para Piaget, os conceitos são construídos a partir da discriminação, abstração e generalização e dependem do desenvolvimento neurofisiológico³. O processo de aprendizagem é abordado de forma ampla na obra de Piaget mas, por não ser a concepção piagetiana objeto de estudo nesta dissertação, não discorreremos sobre o trabalho deste autor. A intenção é destacar que Piaget considera as percepções como fator essencial na aprendizagem de conceitos.

Apesar dos esforços de vários pesquisadores cognitivos, ainda

³ Piaget desenvolveu uma teoria sobre aprendizagem nas crianças onde destaca a idéia que a inteligência é organizada em estruturas mentais por meio das quais o sujeito assimila as informações do mundo exterior. O ato de conhecer, segundo o autor, é uma assimilação de significado às estruturas mentais do sujeito, que por sua vez lida com um sistema de significações. É por meio da interação com o meio que o sujeito constrói suas estruturas mentais e seu conhecimento. Agindo sobre os objetos e transformando-os o sujeito abstrai conhecimentos, constrói estruturas mentais cada vez mais complexas e elabora novas sínteses a respeito dos objetos de seu conhecimento (Taille, 1996).

se sabe pouco sobre como as crianças elaboram seus conceitos. Mas as primeiras descobertas relacionam-se ao mundo físico. As crianças aprendem a identificar os objetos e começam a ter noções de movimento, tamanho e distância. Aprendem também a identificar princípios gerais e aspectos distintos dos objetos.

Algumas pesquisas comprovam que o ser humano já nasce com um sistema visual bem desenvolvido, que permite as discriminações de dados ambientais. Pesquisas (Mueller et al., 1982) revelam que os bebês demonstram maior interesse por imagens fisionômicas do que por figuras de objetos. Também se interessam mais por objetos redondos do que por fotos bidimensionais. Para o autor, essas pesquisas parecem revelar que:

“... a visão da forma e da profundidade começa a se desenvolver bem cedo, ou que pode ser parcialmente inata” (Mueller, et al., 1982, p.12).

Neste caso, não podemos pensar que a visão se processa de forma direta. Estruturas inatas auxiliariam na percepção das coisas cuja identidade são reconhecíveis. O olho e o cérebro, juntos, constituem um sistema organizador que analisa e processa grande quantidade de dados do mundo exterior. Um só estímulo pode ser inadequado ou ambíguo mas a classificação de inúmeros indícios é o instrumento utilizado para eliminar suposições falsas. A classificação nos auxilia na busca de significação, que envolve: separar grande número de informações, selecionar qual é necessária, tomar decisões e conseguir uma visão estável, coerente e significativa do mundo.

Os estudos da percepção com enfoque neurológico e físico, como vimos na seção anterior, não conseguiram ainda desvendar as questões

fundamentais sobre o processo perceptivo humano. Uma outra tendência de pesquisa, nessa área, apareceu com o desenvolvimento dos computadores. Inicialmente, o enfoque foi compreender a percepção visual em sistemas mecânicos.

As tarefas consistiam basicamente em se apresentar uma figura para o computador para que este a identificasse. Nessa primeira fase destaca-se o trabalho de Marr, que desenvolveu um modelo computacional, como já vimos no capítulo II.

Nos modelos computacionais, a primeira etapa consiste em formar esboços de cena em termos de figuras simbólicas: linhas, bordas, manchas, etc. que são os sinais primitivos. A segunda etapa envolve a análise da cena por processos simbólicos, que permite agrupar linhas e pontos de várias formas, bem como identificar objetos. Marr concebia a existência de módulos separados para computar vários aspectos da visão como movimento, cor, etc., com pouca ou nenhuma interação com outros módulos (Gardner, 1995, p.307-23).

Num certo sentido, na parte de *implementação* de modelos computacionais, Marr foi um dos precursores do trabalho conexionista. Os modelos de redes neurais simulam o processo da visão de forma distribuída com muitos módulos, cada um processando e trocando informações com os outros. A computação é executada por interações com poder de inibir ou ativar outras unidades de processamento. Esses modelos simulam a percepção visual de uma forma mais direta, sem o processamento simbólico da Inteligência Artificial (Gardner, 1995, p.307-37).



Segundo Gonzales (1991), Marr concebe a percepção visual como um processo de descoberta, por um organismo, daquilo que está presente no mundo e de sua localização através do emprego da retina. A autora, embora discorde em vários pontos da concepção de Marr, concorda que ver é um processo de descoberta e escreve:

“Esse processo de descoberta envolve uma atividade de representação interna do fluxo de informação que caracteriza objetos e eventos no meio ambiente. Além, disso, o processo de descoberta envolvido na visão possui intencionalidade, isto é, é sempre direcionado em relação a um objeto, evento ou cena particular” (Gonzales, 1991, p.94).

Os connexionistas investigam o sistema visual analisando a natureza das representações mentais nele supostamente presentes como elementos constituintes das percepções. O problema da representação mental não se restringe às bases hierárquicas das representações mentais e aos níveis subsimbólicos ou pré-conceituais da estrutura do pensamento, mas também ao caráter significativo que as estruturas mentais possam adquirir em sua manifestação no cérebro, levando em consideração o contexto em que o organismo atua.

Em resumo, a percepção visual, na concepção connexionista, envolve a atividade de representação interna do fluxo de informação que caracteriza os objetos do meio ambiente. Assim, a capacidade de reconhecimento de padrões caracteriza a percepção visual como um processo representacional. A seguir, trataremos o problema das representações mentais nos modelos

conexionistas no estudo da percepção visual.

III.3 - REPRESENTAÇÃO MENTAL

Conforme vimos no capítulo I, Descartes, foi o primeiro filósofo a sustentar que existem estados mentais que codificam ou representam estados do mundo exterior. Descartes concebeu as representações mentais como entidades abstratas que possuem uma estrutura e cuja função é mediar a interação do homem com o meio ambiente.

A teoria representacionalista, que abordamos no capítulo II, estuda as representações mentais, entendidas como entidades abstratas que possuem estrutura sintática e semântica decorrentes da existência de regras combinatórias que se aplicam às entidades simbólicas. Essa teoria é adotada pela maioria dos pesquisadores da Inteligência Artificial. Para esse grupo, as representações mentais podem ser estudadas como computações abstratas, independentes de suas realizações físicas e do meio ambiente. As abstrações funcionam como mediadores entre organismo e meio ambiente.

Por outro lado, para os connexionistas, as representações mentais são padrões de conectividade que emergem da interação entre unidades *neurônio-símile*. Assim, nos modelos de redes neurais artificiais as estruturas emergentes das unidades de processamento se combinam e formam as estruturas representacionais (Gonzales, 1995).

Nos modelos connexionistas, essas estruturas combinam-se através de leis físicas e de mecanismos de aprendizagem que lhes permitem auto-

organizarem-se em função da informação do meio ambiente. Assim, nesses modelos, é relevante a consideração dos elementos físicos que compõem um objeto, utilizando suas unidades para representar os seus aspectos físicos. Esses aspectos são armazenados de forma distribuída e as características semelhantes podem compartilhar a mesma unidade de memória. Por exemplo, se a cor verde for característica de dois objetos distintos, ocupará uma única unidade de informação.

Tanto os modelos conexionistas como os da Inteligência Artificial têm como base a tese funcionalista computacional, segundo a qual a mente pode ser estudada a partir de um grupo de funções passíveis de simulação. O funcionalismo considera que os estados funcionais desempenham um papel relevante nas estruturas que caracterizam os sistemas inteligentes. A capacidade de armazenar e recuperar informações, bem como representar a informação do meio ambiente, é a questão central dos modelos funcionalistas. A noção de informação, nesses modelos, é entendida como um produto abstrato da mente humana consciente (Gonzales, 1991).

Adotando a tese funcionalista da mente, o Conexionismo sugere um estudo dos níveis de organização mental a partir de suas bases neurológico-informacionais, assumindo que a base das representações é constituída por conteúdos mentais pré-representacionais ou pré-conceituais. A natureza intencional desse tipo de elementos básicos é dada por fatores contextuais que compõem as circunstâncias da ocorrência desses elementos.

A investigação da microestrutura dos padrões de conectividade

em um modelo conexionista não reduz, necessariamente, as representações mentais à entidades materiais. As representações mentais são vistas como estruturas informacionais emergentes da interação entre as unidades de processamento e os padrões informacionais do meio ambiente. A interação da rede com o mundo exterior nos modelos conexionistas não é apenas causal, mas também informacional (Gonzales, 1991, p.104).

As relações informacionais envolvem um elemento aleatório, que opera sobre um conjunto de situações possíveis na fonte e no receptor. Além disso, envolvem uma relação entre conjuntos de estados do meio ambiente e conjuntos de estados disposicionais no organismo. Inicialmente tais relações são estabelecidas aleatoriamente, mas a repetição da ocorrência de eventos estabelece um vínculo entre eles e a relação passa a ser informacional, no sentido que estruturas invariantes se estabelecem entre eventos, em um determinado contexto. Assim, a ocorrência de um elemento constitui informação sobre a ocorrência de outro elemento a ele relacionado.

A interação da rede com os invariantes do meio ambiente tem como resultado inicial o estabelecimento de traços/impressões na memória. A repetição dos elementos invariantes pode dar lugar às representações desses invariantes, dependendo da intensidade das conexões entre as unidades que registram essas frequências. Quanto mais frequente for uma invariante, maior o peso das conexões entre as unidades que a representam. As conexões com maior peso constituirão as representações mentais, caso ocorra co-variância entre elas e os invariantes do meio, isto é, caso se estabeleça uma relação informacional

(Gonzales, 1991).

Essa corrente conexionista pode ser filiada a um paradigma mais geral que é denominado naturalismo. Segundo Teixeira (1993), no estudo da mente, a teoria naturalista apóia-se nos conceitos de função biológica e de evolução entendida como um processo de seleção natural. Neste contexto, sugere uma teoria de representações mentais vistas como um fenômeno natural resultante do processo evolucionário do organismo que interage com o meio ambiente.

Ainda segundo o autor, a representação mental na teoria naturalista é considerada como elemento mediador que possibilita a adequação comportamental dos organismos em relação ao meio ambiente. Nos organismos mais primitivos, Teixeira (1993) considera que o sistema nervoso é insuficiente para gerar representações e o comportamento é organizado através de representações subsimbólicas. A explicação da natureza intencional dos estados mentais de organismos mais complexos só será esclarecida a partir dessas representações.

Em resumo, o Conexionismo filiando-se ao paradigma naturalista e adotando a tese funcionalista e representacionalista da mente, sugere um estudo onde as representações mentais são padrões de conectividade que resultam da interação das unidades de processamento ou unidades *neurônio-símile* com invariantes do meio ambiente. As estruturas resultantes dessa interação se combinam através de leis físicas e por mecanismos de aprendizagem em função da informação do meio ambiente.

O Conexionismo tem como proposta central o estudo das

estruturas representacionais *pré-conceituais*. Pesquisadores conexionistas consideram que tais estruturas fornecem a base para os conteúdos mentais mais complexos. Assim, os modelos conexionistas são elaborados com a finalidade de esclarecer a natureza das estruturas mentais necessárias para a adequação comportamental do sistema perceptivo em relação ao meio ambiente.

No que se segue apresentaremos algumas noções gerais sobre os mecanismos de aprendizagem e formação de conceitos para depois situar nesse contexto a noção de aprendizagem nos modelos conexionistas.

III.4 - APRENDIZAGEM E FORMAÇÃO DE CONCEITOS

Ainda não temos a noção exata de como o ser humano desenvolve um pensamento complexo, apesar do estudo de muitos pesquisadores. Parece existir uma forma individual na construção de um conceito, assim como possa existir uma forma individual do uso da linguagem.

Do ponto de vista tradicional da formação de conceitos, o processo ocorre pela sequência: percepção, abstração e generalização. A capacidade de discriminar, diferenciar ou ainda abstrair as propriedades dos objetos ou eventos envolve o reconhecimento de aspectos que se repetem com alta frequência, as relações entre eles e exclusão das relações que não são prováveis.

O processo de discriminar ou abstrair consiste então em verificar a característica comum a um conjunto e o reconhecimento dessa característica ou propriedade em todos os seus elementos. A capacidade de

efetuar discriminações sucessivas e relacionamentos de características básicas é que dá origem a uma concepção geral, resultando a formação de um conceito. Para alguns pesquisadores cognitivos, a capacidade de formar novos conceitos depende da motivação, associação de idéias e da experiência ou prática pela ação.

Um conceito pode ser considerado, nessa perspectiva, como uma representação, que se inicia com as percepções dos eventos e objetos do mundo exterior, através das experiências e ações. Depende também da capacidade de discriminar as propriedades básicas dos objetos ou eventos e estabelecer relações entre essas propriedades. Além disso, a aprendizagem de um novo conceito depende da associação da nova informação com conceitos já aprendidos.

Conforme Moreira (1982), o pesquisador Auzubel desenvolveu uma teoria de aprendizagem, a qual denomina de aprendizagem *significativa*, e introduz a noção de “*subsumers*”. Estes são conceitos básicos, que formam uma estrutura de conhecimento específica e estabelecem relações com uma nova informação. Assim, uma nova informação é estruturada a partir de conceitos relevantes, na estrutura cognitiva.

Auzubel, segundo Moreira (1982), identifica dois tipos de aprendizagem de conceitos: aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa. A aprendizagem mecânica é necessária quando o indivíduo adquire informação numa área que desconhece completamente. Através da repetição dos eventos essa aprendizagem ocorre até que novos elementos se formem na estrutura cognitiva e possam servir de *subsumers*. A aprendizagem significativa ocorre quando os *subsumers* vão ficando cada vez mais elaborados e mais capazes de sustentar

novas informações, independente do processo de repetição.

Auzubel diferencia também o processo de *formação de conceitos* do processo de *assimilação de conceitos*. Ele sugere que a formação de conceitos é o processo pelo qual as crianças pequenas adquirem os conceitos, o que envolve generalizações de instâncias específicas. Já a assimilação de conceitos é o processo pelo qual os adolescentes e adultos adquirem novos conceitos, isto é, pela recepção de seus atributos criteriosais e pelo relacionamento desses atributos com idéias já existentes na estrutura cognitiva.

O estudo da formação de conceitos envolve assim a capacidade de discriminar atributos de uma classe e generalizar os seus aspectos significativos. Segundo Oliveira (1993), a história das investigações sobre conceitos divide-se em três períodos: (1) concepção clássica, que vai de Aristóteles até o início de 1970; (2) concepção prototípica que predomina de 1.970 até 1.985; e (3) concepção teórica que se estende de 1.985 até hoje.

Oliveira caracteriza a concepção *clássica* como uma teoria que atribui aos conceitos uma natureza discreta, do tipo tudo-ou-nada: um conceito aplica-se (ou não) a uma entidade. Na concepção clássica um conceito é entendido como um conjunto de propriedades que são *individualmente necessárias e conjuntamente suficientes*.

A concepção prototípica, segundo o autor, confere aos conceitos uma natureza contínua, gradual: para cada conceito existem representantes mais ou menos típicos, podendo existir casos intermediários. O conjunto de propriedades constitui seu protótipo e a aplicabilidade de um

conceito a uma entidade depende da semelhança entre a entidade e sua representação mental.

O grau de semelhança da concepção prototípica mais simples dá-se em função do número de propriedades que compartilha com o protótipo. Numa versão mais complexa, a semelhança depende não apenas do número de propriedades mas do peso associado a cada uma, dependendo do seu grau de importância.

A concepção prototípica foi desenvolvida por Rosch, em 1970. A pesquisadora desenvolveu experimentos para investigar a noção de tipicidade, no qual um conceito pode ser mais típico que outro; e numa segunda fase, experimentos para estudar a relação entre conceitos e subconceitos (Oliveira, 1993, p.27-33).

As principais correlações entre o grau de tipicidade de exemplares e subconceitos foram: (1) com os aspectos do processo de categorização: quanto mais típico um caso, mais rapidamente ele é categorizado e menor o número de erros; (2) com a ordem e a probabilidade na “produção livre” de subconceitos: os mais típicos são mencionados mais cedo e/ou com maior frequência; e (3) com os aspectos do processo de aprendizagem: quanto mais típico for um caso, mais se aplica a ele o conceito que está sendo aprendido.

Tanto na concepção clássica como na concepção prototípica, os conceitos de cada domínio são estruturados em taxonomias: espécie, gênero, família, etc. Além das taxonomias científicas utilizadas na estruturação dos conceitos são também utilizadas as taxonomias presentes nas linguagens naturais



e de senso comum. Na concepção prototípica, Rosh considera que cada taxonomia possui um nível básico e mais dois níveis superiores: os conceitos superordenados e subordinados. Por exemplo, o conceito *gato* é um conceito básico, *animal* é um conceito superordenado e *gato siamês* é um conceito subordinado (Oliveira, 1993, p.34-6).

A terceira concepção, denominada teórica, mais genérica, considera que um conceito é constituído não apenas de propriedades mas também de relações com outros conceitos. Os conjuntos dessas relações que articulam os conceitos entre si formam redes, as quais são vistas como teorias. As teorias podem ser entendidas como teorias científicas e também como estruturas cognitivas do senso comum.

Segundo Oliveira (1993), a transição da concepção prototípica para a concepção teórica foi causada pelo entendimento de que o conhecimento científico e o de senso comum consistem de estruturas cognitivas que articulam os conceitos referentes a cada domínio. Explicações para exemplos que diferem da definição clássica de uma espécie, por exemplo, só podem ser concebidas no contexto de uma teoria porque buscamos explicações quando o objeto não possui uma determinada propriedade.

Em resumo, segundo as perspectivas tradicionais da investigação dos conceitos, a formação de um conceito inicia-se pelas percepções do indivíduo em relação ao meio ambiente. As percepções produzem inicialmente traços e impressões na memória e através da discriminações dos aspectos invariantes do meio ambiente começamos a classificar os objetos (existentes ou

não). Estruturas são elaboradas nesse processo e nos permitem interagir com o mundo exterior. Além disso, a nova informação é incorporada às representações já existentes através do processo associativo.

Os modelos conexionistas investigam o processo de representação e formação de conceitos com o objetivo de entender o mecanismo subjacente a esse processo de aprendizagem. A seguir, investigaremos a concepção de aprendizagem simulada nos modelos conexionistas.

III.5 - APRENDIZAGEM NO MODELO CONEXIONISTA

A aprendizagem, no senso comum, é a capacidade do ser tornar-se apto ou capaz de realizar alguma coisa através do estudo, treino, observações e experiências. Para estudiosos da cognição, de uma forma geral, o processo de aprendizagem em indivíduos com formação neurológica normal é um processo interno ao sujeito, que depende de vários fatores como capacidades individuais e estados mentais. Entre estes fatores, destacamos: formação de conceitos, memorização, associação de idéias, motivação, atenção e expectativas.

A capacidade de conceitualização é que torna o indivíduo apto a organizar as informações em grandes classes ou em idéias gerais. As percepções são individuais, específicas e particulares, mas contribuem para o processo de geração de informações universais, que ocorrem através da abstração de atributos gerais associados às representações mentais de outros objetos ou situações particulares.

Para os pesquisadores da corrente naturalista, que adotam a

hipótese representacionista da mente, as representações mentais são entendidas como os elementos que permitem aprendizagem e conseqüente adequação comportamental dos organismos em relação ao meio ambiente. Essa visão naturalista do processo de aprendizagem pode ser explicada nos modelos de redes neurais. Explicar o mecanismo de aprendizagem, neste contexto, significa descrever como o organismo se desenvolve, conhece e reconhece o mundo exterior. O Conexionismo adota a hipótese segundo a qual as percepções do meio possibilitam a aprendizagem através da repetição e associação entre eventos. O processo associativo, considerado nos modelos conexionistas, permite a integração de novas informações à estrutura das representações já adquiridas.

Nos modelos de redes neurais o mecanismo de aprendizagem é simulado através de processos associativos e de manipulações de estruturas representacionais dos objetos na memória de forma distribuída. Tais modelos, de uma forma geral, são concebidos como um conjunto de unidades físicas de processamento denominadas unidades *neurônio-símile* (UNS). Numa concepção básica, essas unidades podem possuir uma memória local e executar algumas operações. Cada UNS possui um estado de ativação representado por valores contínuos ou discretos.

O modelo possui também uma função de saída que calcula o valor de ativação da unidade, o qual será transmitido através das conexões que interligam as UNS. O sinal de saída ou *output* produzido por cada UNS é transmitido às outras UNS conforme uma regra de propagação de atividade. Essa transmissão do sinal de saída é gerenciada por uma *função de transferência*. O

processamento da informação em cada UNS pode resultar num sinal inibitório ou excitatório que é transmitido para as outras unidades através das conexões. O sinal transmitido é igual para todas as unidades. Conforme o sinal recebido, algumas operações são realizadas, conforme a “regra” de ativação do modelo.

A maioria dos modelos de redes neurais artificiais é dotado de uma lei do aprendizado ou de uma *função de aprendizagem*, responsável pelo processo de adaptação ou aprendizagem da rede. Essa função trabalha com os *inputs*, que são os sinais de entrada, produzindo alterações dos pesos das conexões na memória local, influenciando os *outputs* da rede. A rede, inicialmente, pode errar e não produzir a saída adequada. Através do treinamento, são estabelecidas relações informacionais que permitem à rede aprender o padrão de saída correto.

A hipótese acerca da existência de uma lei de aprendizado nas redes foi inspirada na hipótese de Hebb (Gonzales, 1989), segundo a qual aprendizagem e as estruturas representacionais da memória ocorrem como uma função de atividade neural. Os eventos perceptivos produzem, através da repetição, o fortalecimento de conexões sinápticas. Essa hipótese foi introduzida nos modelos de redes neurais com várias modificações. A forma mais comum de se caracterizar uma regra de aprendizagem é apresentada por Rumelhart & McClelland (1986, p.36): *Quando duas unidades ativas A e B forem excitadas simultaneamente, incrementa o peso da conexão entre elas.*

Uma outra variação, decorrente da regra apresentada acima é:
Ajuste o peso das conexões A e B conforme o produto de suas ativações



simultâneas.

Através do ajuste de pesos das conexões entre as UNS, as redes criam estruturas representacionais na memória, corrigindo-os de modo a ajustá-los aos padrões de entrada. O processo de aprendizagem constitui então um processo de alteração de pesos na memória conforme a repetição dos estímulos de entrada, estabelecendo uma relação entre as unidades de processamento conforme os pesos das conexões.

Os modelos de redes neurais são implementados através de algoritmos que estabelecem os princípios básicos para a simulação do processo de aprendizagem. Normalmente, o modelo conexionista, conforme Rumelhart & McClelland (1986, p.47), pode ser caracterizado por oito aspectos básicos, resumidos a seguir:

- Um conjunto de unidades de processamento (UNS)
- Um estado de ativação
- Uma função de saída para cada UNS
- Uma padrão de conectividade entre as unidades
- Uma regra de propagação de atividade entre as UNS
- Uma regra de ativação das UNS
- Uma regra de aprendizagem
- Um procedimento para operação do sistema.

Em síntese, os modelos conexionistas são compostos por um conjunto de unidades de processamento que possuem capacidade de efetuar algumas operações. Os padrões de entrada são informados à rede através de uma função de ativação. Cada unidade pode produzir um sinal de saída que é

transmitido às outras unidades através da função de transferência. A lei de aprendizagem estabelece que os estímulos que ocorrem com maior frequência fortalecem as conexões entre os eventos. Quando um padrão de entrada desconhecido é apresentado à rede, é possível a produção de uma resposta através da verificação das relações de semelhança entre os estímulos já conhecidos e o novo estímulo. Assim, através da associação dos estímulos de entrada com os pesos das conexões na memória e das funções de ajuste e propagação, estabelecidas para o modelo, ocorre o mecanismo de aprendizagem.

Em resumo, nesse capítulo vimos alguns aspectos envolvidos no processo de aprendizagem e reconhecimento de padrões visuais. Iniciamos investigando os primeiros estudos realizados sobre a percepção com a intenção de mensurar a intensidade das sensações que resultaram em unidades de medida para certos estímulos sensoriais como sons e padrões luminosos. Apontamos que essas características estão presentes igualmente nos modelos conexionistas, que consideram a importância da mensuração dos estímulos recebidos no processo de aprendizagem que permite a interação com o mundo exterior.

Colocamos também uma segunda tendência de pesquisa nos estudos da percepção visual cujo enfoque inicial foi simular esse processo nos computadores, focalizando os elementos que caracterizam uma imagem. Esses trabalhos influenciaram os modelos conexionistas que consideram os estímulos recebidos e identificam os aspectos estruturais neles envolvidos. Os conexionistas ressaltam a relevância do processo associativo nos mecanismos de aprendizagem de tais elementos estruturais.

Nas redes neurais, tais elementos estruturais resultam da interação entre as unidades de processamento ou unidades neurônio-símile que representam os *átomos* do conhecimento (Smolensky, 1986), os quais possibilitam o comportamento inteligente.

O Conexionismo pressupõe a existência de algumas conexões básicas estabelecidas no processo de aprendizagem, isto é, considera que a memória não é uma página em branco e que existem leis físicas que permitem a ativação de uma população de neurônios. Dessa ativação emergem estruturas que representam os elementos pré-conceituais adquiridos. Assim, os modelos de redes neurais artificiais apresentam estruturas físicas preexistentes que são representadas nos modelos pelas funções de ativação, de transmissão e pelas leis de aprendizagem. As conexões, por sua vez, permitem a troca de informação entre as unidades, possibilitando o processamento em paralelo e distribuído. Através da análise dos estímulos perceptivos e do processo de aprendizagem, os modelos apresentam o fortalecimento (ou enfraquecimento) entre as conexões, gerando novas representações. Quanto mais o peso de uma conexão for ativado, mais forte ela se tornará e mais representativa será aquela parte da memória em que tal conexão se encontra. Da mesma forma, a força dessa conexão diminuirá pela falta de estímulos e será pouco significativa no processo de formação de representações.

Das impressões perceptivas, segundo essa concepção, inicia-se o processo de aprendizagem e a conseqüente formação de representações ou estruturas informacionais.

A incorporação de novas representações em uma rede neural provoca uma alteração nos pesos das conexões entre as UNS, fortalecendo ou inibindo estruturas já formadas. Assim, a cada nova informação, a rede calcula o peso das conexões que interligam as unidades de processamento. Finalmente, ressaltamos que os estímulos do meio ambiente podem produzir uma resposta para a qual a rede não foi treinada, através da verificação das relações de semelhança entre estímulos conhecidos e o estímulo desconhecido. A aprendizagem nos modelos conexionistas é considerada como um processo associativo, no qual as estruturas adquiridas podem servir de base para uma nova relação informacional.



As redes neurais aprendem a resolver um problema; elas não são programadas para resolvê-los.

Caudill & Butler (In: Gonzales, 1996, p.279)



CAPÍTULO IV

RECONHECIMENTO DE PADRÕES EM REDES NEURAIIS

INTRODUÇÃO

Cientistas cognitivos, conforme vimos no capítulo II, adotam o pressuposto de que o estudo do conhecimento requer a investigação das capacidades *representacional* e *computacional* da mente, sob dois enfoques diferentes. Por um lado, o modelo lógico, com processamento serial, e por outro o modelo neurocomputacional, com processamento distribuído e paralelo.

Esses modelos computacionais, utilizados na investigação da natureza do conhecimento humano, conforme vimos no capítulo III, tratam de forma diferente a questão da natureza das representações mentais. Para o modelo lógico, as representações são entidades abstratas que teriam a função de possibilitar a nossa interação com o mundo exterior. Para o modelo neuronal, as representações são padrões que emergem da conexão entre as unidades de processamento de uma rede.

Nesse capítulo trataremos das diferenças entre os modelos da Inteligência Artificial e os modelos de redes neurais, no tratamento do processo de aprendizagem. Inicialmente, discutiremos as noções de computabilidade e procedimento efetivo que permitiram a concepção do computador. Colocaremos também as principais diferenças do modelo lógico-computacional em relação ao modelo neurocomputacional, na questão do processamento de informações e na



forma de programação.

Para entendermos as diferenças na concepção dos modelos da Inteligência Artificial e das redes neurais, discutiremos em primeiro lugar a questão do algoritmo ou procedimento efetivo na seção IV.1. Destacaremos também a preocupação de alguns pesquisadores na tentativa de descobrir um método para verificar se uma proposição matemática é ou não um teorema.

Na seção IV.2, ilustraremos a noção de procedimento efetivo apresentando uma comparação entre a máquina de Turing e a forma usada pelo ser humano para efetuar cálculos. Nessa seção, comentaremos também as restrições mais importantes na definição do algoritmo da máquina de Turing.

A seguir, na seção IV.3, colocaremos a definição formal da máquina de Turing como máquina de estado finito, conforme proposição de Minsky, um dos pioneiros da Inteligência Artificial. Discutiremos também a concepção física de *máquina computadora* proposta por Turing.

Os aspectos gerais dos modelos de redes neurais artificiais serão enunciados na seção IV.4, com o objetivo de caracterizar algumas diferenças entre a concepção de aprendizagem no modelo lógico-computacional e no modelo conexionista.

Já na seção IV.5, apresentamos um exemplo de modelo de redes neurais, a rede de Hopfield, com a finalidade de ilustrar os assuntos discutidos nesta dissertação. Discutiremos também o conceito de aprendizagem utilizado em nosso modelo prático, apresentando os algoritmos utilizados, os padrões de treinamento e os resultados obtidos.



Finalizando o nosso trabalho, colocamos na seção IV.6 as principais críticas ao programa da Ciência Cognitiva que, em sua maioria, são dirigidas à validade da utilização dos modelos computacionais na investigação dos processos cognitivos da mente humana.

IV.1 - PROCEDIMENTO EFETIVO

Um procedimento efetivo ou algoritmo permite demonstrar como uma tarefa pode ser executada através de uma estrutura simbólica com um número finito de etapas. Cada etapa é composta por um conjunto finito de operações que possibilitam a execução da tarefa de forma inequívoca. As etapas são enumeradas conforme a ordem de execução. Em geral, a inversão da ordem das operações produz erros na execução da tarefa, mas também devemos considerar que uma mesma tarefa possa ser descrita de forma diferente e produzir o mesmo resultado (Massi, 1994).

Conforme Cutland (1980, p.9), duas concepções estão implícitas na idéia de procedimento efetivo: que o procedimento é executado por uma seqüência de estágios ou etapas (cada uma finalizada num tempo finito) e que uma saída é produzida após um número finito de etapas. Essa idéia é associada à noção de funções computáveis e fornece a base matemática para a teoria da computabilidade.

A noção de procedimento efetivo está diretamente vinculada à noção de computabilidade e é utilizada para estruturar os programas executados num computador. Para definir um algoritmo é necessário saber como chegar à



solução de um problema e conseguir estruturar um caminho para essa solução, através de um número finito de operações produzindo uma saída desejada. Assim, as características mais importantes de um procedimento efetivo são: a descrição finita e a efetividade das operações.

Num procedimento efetivo não são utilizadas noções subjetivas, a criatividade não é envolvida e a prova de sua consistência é absolutamente objetiva através de um método finito. Tal procedimento consiste basicamente na transformação de todas as regras do processo em uma sequência de símbolos. Essa transformação é realizada através da Lógica, que possibilita a descrição matemática das estruturas através de símbolos (Massi, 1994).

A noção de procedimento efetivo surgiu da tentativa de encontrar um método para demonstrar a validade de uma proposição matemática. A história da matemática revela que a demonstração ou prova de um teorema, apesar de não ser verdadeira, ou de partir de hipóteses duvidosas, era aceita, até que se pudesse provar o contrário. Essa preocupação foi demonstrada nos trabalhos de Hilbert. Conforme Dupuy (1996, p.28), a preocupação de Hilbert era quanto à questão da decisão, isto é, verificar se existe ou não um procedimento efetivo que permita determinar se uma fórmula do cálculo dos predicados é demonstrável. Além disso, em seus trabalhos, Hilbert referiu-se à possibilidade de não existir solução para determinados problemas, da ocorrência de soluções desenvolvidas com senso incorreto e ainda ao problema de mostrar a impossibilidade da solução.

Segundo o autor, o primeiro trabalho desenvolvido nesse

sentido foi o teorema da incompletude de Gödel, publicado em 1931. Esse teorema, juntamente com seus corolários, regulamentou a existência de procedimento efetivo para decidir se declarações de primeira ordem são verdadeiras ou falsas. O teorema de incompletude de Gödel é definido por Dupuy (1996) como:

“... para todo sistema formal no sentido da lógica (o que implica ser dada uma linguagem formal, fórmulas dessa linguagem tidas como axiomas e regras de inferência) suficientemente rico para conter a aritmética, temos a seguinte propriedade: ou o sistema é inconsistente (leva a teoremas contraditórios) ou existe pelo menos uma proposição verdadeira que não é demonstrável pelo sistema. A sentença que lhe corresponde, portanto não é um teorema, como também não o é a sua negação” (Dupuy, 1996, p.34).

Gödel transformou assim as questões referentes à existência de procedimento efetivo para decisão de propriedades de fórmulas que são reduzidas à consideração de computabilidade efetiva, no domínio da teoria das funções. Devido a essa correspondência entre computabilidade efetiva das funções e a existência de procedimento efetivo para resolução de problemas, as tentativas para formalizar a noção de procedimento efetivo têm envolvido computabilidade de funções. Embora exista o esforço em formalizar a noção geral de efetividade, não foi possível especificar um procedimento efetivo que não seja representável por uma função computável (Davis, 1958).

Para Dupuy (1996), o teorema de Gödel deixa em suspenso o problema colocado por Hilbert porque ainda não temos uma definição rigorosa de algoritmo. Assim, para provar que a questão definida por Hilbert não era

decidível, é necessário definir precisamente o termo *procedimento efetivo*. Além disso, Dupuy considera que dessa definição depende a proposição que afirma que se uma sentença é demonstrável então pode ser expressa sob a forma de uma proposição aritmética. Complementando essa linha de raciocínio, comenta:

“Essa aritmetização da lógica oferece um fundamento rigoroso à Máxima: raciocinar é calcular (sobre números inteiros). No entanto, o teorema da incompletude deixa em suspenso a solução do problema colocado por Hilbert” (Dupuy, 1996, p.29).

Em sua prova de incompletude, Gödel utilizou a classe de funções primitivas recursivas, porque elas possuem importante propriedade: para cada conjunto de valores dos argumentos, a função é computada por um procedimento finito. No entanto, ele também reconhece que uma grande classe de funções, hoje denominadas funções recursivas, também podia ser considerada. Dessa forma, funções computáveis pelo procedimento efetivo são especificadas por uma definição de função recursiva (Davis, 1958).

Turing, em 1936, propôs um formalismo para a representação de procedimento efetivo, que veremos na seção IV.3. O trabalho de Turing é particularmente significativo porque ele propõe uma formalização matemática da noção abstrata de máquina, com noções intuitivas de efetividade. A máquina de Turing define como uma função é computada. Tornou-se usual a afirmação que todo procedimento efetivo pode ser computado por uma máquina de Turing.

A noção de procedimento efetivo foi essencial para o desenvolvimento dos programas computacionais. Dessa noção nasceu a idéia de

que tudo que permita uma descrição através de um número finito de operações ordenadas pode, em princípio, ser simulado em um computador. Dessa forma generalizou-se também a idéia que um programa computacional executa somente as operações ou processos previstos pelo programador.

Essa noção de que um programa computacional executa somente as operações previstas em seu algoritmo é contestada por Minsky (1976), pesquisador da Inteligência Artificial. O autor lembra que a maioria dos modelos computacionais da Inteligência Artificial envolvem a heurística, “nome dado ao programa que ‘julga’ o que é melhor tentar em seguida”. Assim, conforme Minsky, os programas heurísticos realizam processos para os quais não foram programados. Esses programas também executam avaliações de resultados em relação a resultados anteriores e *decidem* qual a próxima etapa que será efetuada. A partir das considerações acima, Minsky observa:

“Há uma superstição comum que ‘o computador só poderá resolver um problema quando cada etapa de sua solução tiver sido claramente especificada pelo programador’. A declaração é verdadeira num sentido superficial, mas tomada ao pé da letra será perigosamente enganadora” (Minsky, 1976, p.155).

Por sua vez, os modelos de redes neurais artificiais também apresentam comportamentos que não estão previstos em seus algoritmos, conforme veremos no modelo prático, na seção IV.5. O processo de aprendizagem permite a esses modelos criar relações entre eventos através da repetição e criar novas estruturas informacionais.

Em resumo, a noção de procedimento efetivo sugere a

possibilidade de estruturar um problema em etapas discretas, descrevendo as operações pertinentes a cada etapa e que são executadas num tempo finito, produzindo uma resposta adequada.

A idéia de procedimento efetivo surgiu da tentativa de demonstrar, através de um método finito, a validade de uma proposição matemática. Turing desenvolveu a idéia de procedimento efetivo associada às funções computáveis e propôs um formalismo matemático que sustenta a teoria da computabilidade.

A noção de máquina computadora e os programas de computadores são caracterizados através de procedimentos efetivos. Conforme essa concepção, um programa computacional executa somente as etapas e operações previstas e não apresenta comportamentos não previstos em suas etapas. No entanto, essa noção é contestada tanto por pesquisadores vinculados à Inteligência Artificial quanto por pesquisadores connexionistas.

A seguir, verificaremos quais foram as noções intuitivas de Turing utilizadas para a definição da estrutura básica de um computador. Na próxima seção destacaremos a importância da intuição no desenvolvimento da ciência e introduziremos uma discussão formal da máquina de Turing.

IV.2 - A BASE INTUITIVA DA MÁQUINA DE TURING

Turing foi um dos primeiros pesquisadores a descrever o procedimento envolvido no ato de computar. Ele formalizou esse procedimento na descrição de uma máquina teórica simples, supostamente baseada na forma



humana de computar.

Segundo Davis (1965), Turing sugeriu que a execução de uma tarefa pode ser descrita por um conjunto de regras e operações que permitam a sua execução de forma mecânica. Esse conjunto de regras devia então ser descrito adequadamente para ser executado de modo simples e exato, possibilitando à computação ser conduzida de forma eficiente.

Turing observou que, quando o ser humano executa cálculos, como uma divisão, ou efetua uma manipulação algébrica, seu comportamento pode ser resumido em: calcular e anotar em papel os resultados parciais de cada etapa completada. De acordo com essa concepção, também consiste na execução de etapas básicas, simples, realizadas muitas e muitas vezes em tempos diferentes.

Turing distinguiu alguns fatores essenciais na obtenção do resultado e outros fatores que não influem ou que não alteram esse resultado do cálculo. Ele mostrou como extrair desse processo o que é *essencial* e eliminar o que é *irrelevante*. A partir dessa idéia, Turing criou um modelo análogo àquele dos computadores atuais.

Coisas como o papel utilizado, o uso de caneta ou lápis são claramente irrelevantes para a composição do resultado final de um cálculo. Mas, para outros aspectos da computação, Turing definiu algumas restrições. Em primeiro lugar, restringiu o uso do papel no sentido horizontal como, por exemplo, é o uso atual da gravação em uma fita magnética. A fita linear é então marcada por quadrados iguais, cada um ocupado por apenas um símbolo.

Davis (1965) considera que a restrição mais drástica de Turing

refere-se à quantidade de números que são examinados em um determinado instante. Ele assume que somente um símbolo será examinado de cada vez. Contudo, esta também não caracteriza uma restrição essencial porque se o cálculo exige o exame de vários números, isto é realizado pela repetição de operações.

Colocadas as restrições, Turing define então as operações permitidas para executar o cálculo: trocar 0 por 1 ou 1 por 0 num quadrado ou mover-se para outro quadrado na fita, imediatamente à direita ou à esquerda do quadrado em questão. Esta também não constitui uma restrição essencial porque se, por exemplo, deve ser examinado um quadrado três vezes à direita ou à esquerda, o movimento será repetido em três tempos diferentes.

Quando o quadrado procurado é encontrado, o cálculo é efetuado e após essa etapa será executada uma decisão concordante. Essa decisão consiste no que será executado na próxima etapa ou se o cálculo será finalizado.

Em resumo, Turing sugeriu que algumas computações poderiam ser realizadas trabalhando com conjuntos de 0(s) e 1(s), escritos em uma fita de papel, e executando operações simples com esses conjuntos. Todo procedimento pode ser resumido nas instruções:

- Escreva o símbolo 1.
- Escreva o símbolo 0.
- Mova um quadrado à direita.
- Mova um quadrado à esquerda.
- Leia o símbolo corrente e execute a próxima operação.
- Pare.

O procedimento para um cálculo deve ser descrito na forma de

uma lista finita de instruções, isto é, como um procedimento efetivo. Assim, o processo de computar um número por uma máquina envolve um número finito de condições $q_1, q_2, \dots, q_n$ que são denominadas de *m-configurações*. A máquina possui uma fita, dividida em quadrados iguais, com um símbolo por quadrado. Em um determinado momento, o espaço r ocupado por um símbolo, suporta o símbolo $G(r)$ na máquina. Contudo, as *m-configurações* da máquina armazenam alguns símbolos iniciais. O possível comportamento da máquina em um dado momento é determinado pela *m-configuração*, representada por q_n , e pelo símbolo procurado $G(r)$. O par $(q_n, G(r))$ determina então o possível comportamento da máquina.

A máquina de Turing permite algumas variações em sua definição. Por exemplo, em algumas configurações, somente um quadrado em branco permite a gravação de um novo símbolo e, em outras, um novo símbolo pode ser gravado mesmo que o quadrado já contenha um símbolo. Já em outras configurações, a máquina pode mover a fita para a direita ou para a esquerda do quadrado em questão e não em apenas uma das direções.

A noção da máquina é determinada pela configuração interna ou estado. Em cada estado interno, o número do quadrado examinado, a sequência completa dos símbolos na fita e a *m-configuração* são usados para descrever esse estágio. As mudanças da máquina e da fita entre as configurações são denominadas movimento da máquina.

A definição da máquina de Turing como uma máquina de estado finito, ou autômato finito, é uma forma de simplificar e tornar mais fácil o seu



entendimento. Algumas formulações da máquina de Turing são classificadas como máquinas infinitas porque esses modelos permitem uma fita infinita que se move em ambas as direções um número indefinido de vezes.

Na concepção de máquina com fita infinita, a noção de estado da máquina é definida como uma relação entre o estado q com a fita de entrada (Massi, 1994).

Em resumo, a máquina de Turing pode ser definida como uma máquina de estado finito, com seu procedimento descrito em etapas discretas e com processamento sequencial. A cada momento, a máquina pode efetuar apenas uma tarefa: examinar um número, gravar um número ou mover a fita. A fita é a memória da máquina. Ela contém os valores de entrada, as instruções para os cálculos que serão efetuados e os valores de saída. Devido à sua natureza finita, a estrutura e o comportamento da máquina podem ser descritos completamente. A máquina será, assim, entendida como uma relação entre a sua estrutura e o seu comportamento.

No que se segue, apresentaremos a definição formal da máquina de Turing com a finalidade de ilustrar sua estrutura e seu comportamento, os quais podem ser descritos através de um número finito de etapas.

IV.3 - DEFINIÇÃO FORMAL DA MÁQUINA DE TURING

A notação formal mais comum da máquina de Turing é a sugerida por Minsky (1967). Segundo o autor, as descrições matemáticas formais da máquina de Turing podem ser encontradas em Turing (1936), Post (1943),

Klene (1952), Davis (1958) e não há diferenças técnicas importantes nessas formulações. Minsky apresenta a máquina de Turing como uma máquina de estado finito cujo procedimento pode ser definido em etapas discretas e com processamento seqüencial.

A máquina de estado finito possui canais de entrada e de saída. O canal **S** é o canal de estímulos e recebe os sinais de entrada, e o canal **R** fornece a saída. A cada momento a máquina recebe um sinal de entrada e seleciona uma saída. A relação entre entradas e saídas é denominada história da máquina.

Assim, no momento **t**, a máquina recebe um sinal **s** e responde no momento **t + 1** com sinal **r**, que depende do sinal **s** no momento **t**. A memória tem a forma de uma seqüência de quadrados numa fita linear. A máquina é acoplada à fita através de um dispositivo de leitura que, a cada momento, se posiciona num quadrado da fita. A unidade de leitura possui três funções, as quais são executadas em cada ciclo de operação da máquina de estado finito. Essas funções são: ler o símbolo do quadrado, escrever no quadrado e mover a máquina para o quadrado adjacente. A máquina de estado finito é caracterizada por:

um alfabeto $\{s_1, s_2, s_3, \dots, s_n\}$ de símbolos de entrada;

um alfabeto $\{r_1, r_2, r_3, \dots, r_n\}$ de símbolos de saída; e

um conjunto $\{q_1, q_2, q_3, \dots, q_n\}$ de estados internos.

Como o estado da máquina é determinado pela história **Q(t)**, a saída é determinada por **F** na forma da expressão (1) abaixo.

$$R(t + 1) = F(Q(t), S(t)) \quad (1)$$

Quando a saída **R(t + 1)** não é determinada pela entrada e pela

história, a máquina é denominada *não determinística*.

No caso de máquinas de estado finito, elas possuem um conjunto finito de estados internos que armazenam somente um número finito de classes de histórias possíveis. O símbolo $Q(t)$ é designado para o estado interno da máquina. O estado $Q(t)$ depende da história da máquina. A história no tempo $t + 1$ difere do tempo t e depende da entrada $S(t)$ e do estado anterior $Q(t)$. Assim, $Q(t+1)$ é uma função representada por (2), denominada função de transição.

$$Q(t+1) = G(Q(t), S(t)) \quad (2)$$

As funções descrevem a relação entre entrada, saída e comportamento subsequente da máquina. Assim, os símbolos de entrada S são escritos na fita, um símbolo por quadrado. A entrada para a máquina M no tempo t , será o símbolo gravado no quadrado que a máquina examina naquele momento. A alteração resultante no estado será determinado pela função G . A saída da máquina M tem como funções: (1) escrever no quadrado encontrado e (2) mover a fita para um lado ou outro.

Como a de saída tem duas funções, Minsky (1967) separa a função de saída da função de movimento. A função de movimento (3) informa o modo pelo qual a fita deverá ser movida.

$$D(t+1) = D(Q(t), S(t)) \quad (3)$$

Assim, a máquina é descrita por três funções: função de transição, função de saída e função de movimento da máquina. Em cada ciclo de operação, a máquina inicia no estado q_i , lê o símbolo s_j , escreve no quadrado da fita sob o cabeçote de leitura, imprime um novo símbolo $F(q_i, s_j)$ e então entra

num novo estado $G(q_i, s_j)$.

Quando um símbolo é impresso na fita, o símbolo que lá estava, é apagado. Ele também pode ser preservado pela impressão do mesmo símbolo que já estava na fita, isto é, se $F(q_i, s_j)$ é o mesmo que s . A máquina move o cabeçote ao longo da fita e retorna para uma locação previamente impressa para recuperação da informação. Desta forma, a fita armazena arbitrariamente grande quantidade de informações.

A fita da máquina de Turing é infinita nas duas direções. Mas Minsky (1967) faz a restrição de que, quando a máquina é inicializada, a fita deve estar em branco, exceto para um número finito de campos. Com esta restrição, pode-se falar da fita como realmente finita para um tempo particular, mas com a possibilidade de que, sempre que chegar ao final da parte finita da fita, a máquina possa alocar um novo quadrado na fita.

Assim, a máquina de Turing, com memória em fita infinita, permite computações realizáveis em uma máquina de estado finito. Uma máquina de estado finito pode ser definida em quintuplas na forma (4) ou (4'), abaixo.

$$(q_i, s_j, G(q_i, s_j), F(q_i, s_j), D(q_i, s_j)) \quad (4)$$

$$\text{ou } (q_i, s_j, q_{ij}, s_i, d_{ij}) \quad (4')$$

A definição teórica da máquina de Turing é abrangente e pode ser modelada para qualquer procedimento efetivo. Devido à completude e clareza das definições, a máquina de Turing representa, ainda hoje, o modelo de efetividade. Turing sugeriu também que não é possível decidir, a priori, se a máquina vai parar. Não existe uma máquina capaz de decidir a priori se uma outra

máquina de Turing vai parar ou entrar num processo de cálculo sem fim (Massi, 1994).

Segundo Dupuy (1996), Turing ao escrever sua concepção de máquina, não tinha a intenção de enunciar uma nova ciência da mente. Para o autor, Turing tinha como objetivo resolver o problema da decisão, proposto por Hilbert, e seu trabalho mostrou que todo procedimento mecânico tem uma máquina de Turing correspondente. Completando a sua linha de pensamento Dupuy comenta:

“... cada máquina de Turing particular imita uma faculdade da mente particular: ela é o seu modelo. A máquina de Turing universal imita qualquer máquina de Turing particular: constitui o modelo dos modelos” (Dupuy, 1996, p.38).

O autor também considera que a proposição de Turing é desconcertante porque mostra que o conjunto de procedimentos mecânicos e enumeráveis não pode ser caracterizado de forma mecânica. A seu ver isto sugere que “a máquina pode gerar coisas além do mecânico”.

No artigo *Computadores e Inteligência* (In: Epstein, 1973), Turing desenvolve a idéia de que um computador pode exibir comportamentos inteligentes e pode competir com o homem no plano intelectual. No mesmo artigo, Turing descreve o modelo básico de máquina, composto por: memória, unidade executiva, unidade de controle e livre arbítrio⁴ de escolha. Uma

⁴ A noção de livre arbítrio para Turing está ligada à aleatoriedade, ao acaso. Segundo Gonzales (1995), essa noção é bastante diferente da noção de liberdade sugerida por Descartes. Para Descartes a liberdade não estaria ligada à casualidade e sim justamente ao contrário: quanto mais uma pessoa adquire conhecimento e quanto mais aprende a entender seus semelhantes e o mundo em que vive, mais liberdade possuirá.

composição bastante semelhante aos computadores atuais.

Foi a concepção de Turing, no artigo citado acima, que originou a idéia de ser possível descrever e testar o comportamento humano inteligente num computador. Dessa hipótese, surgiram várias correntes de pensamento que formaram a base da Ciência Cognitiva. Para Dupuy (1996), a questão (de ser possível descrever o comportamento inteligente através de uma máquina) foi vista de formas diferentes: como uma relação entre pensamento e máquina; como uma relação entre pensamento e matéria; com a perspectiva de que pensar é calcular; ou ainda que o pensamento é algo mais do que calcular. Segundo o autor, a hipótese computacional da mente proposta por Turing poderia ter aprofundado o debate filosófico sobre a diferença entre *pensar* e *conhecer*, pois uma função numérica pode ter o seu conceito definido de forma clara e distinta, mas o problema da indecibilidade de parada da máquina escapa ao cálculo, indicando assim limites para o cálculo, mas não para o conhecimento. No entanto, serviu mais para a formulação de uma teoria estéril de que *pensar é calcular*.

“Se os teoremas de Turing mostram algo, é justamente que pensar não é necessariamente calcular”(Dupuy, 1996, p.37).

Os modelos da Inteligência Artificial simulam a natureza do conhecimento humano através de regras abstratas e representações simbólicas. Conforme mencionamos, segundo Minsky (1976) os modelos da Inteligência Artificial, em geral, são heurísticos. Envolvem, assim, uma coleção de regras para decidir quando continuar a busca de uma solução e quando parar. O

comportamento inteligente⁵, nesses modelos, é caracterizado por um conjunto de métodos e técnicas que permitem ao programa computacional a decisão da próxima etapa a ser executada.

Em resumo, Turing desenvolveu a noção de máquina a partir da demonstração matemática das funções computáveis, vinculando a noção de computabilidade à noção de funções computáveis. A concepção teórica de Turing sugere que, para cada procedimento efetivo, existe uma máquina capaz de reproduzir esse comportamento. Por outro lado, na verificação de uma proposição ser (ou não) um teorema, não é possível prever se a máquina vai finalizar sua operação. Não existe uma máquina de Turing capaz de demonstrar que outra máquina vai parar.

Os trabalhos da Inteligência Artificial na investigação da natureza do conhecimento são simulados na máquina de Turing com o pressuposto de que processamos a informação de forma sequencial. Os modelos dessa linha de pesquisa são baseados em computações compostas por regras abstratas sobre representações simbólicas.

A abordagem conexionista, que supostamente difere daquela do modelo lógico-computacional, será analisada a seguir com o objetivo de identificar as principais diferenças entre esses modelos.

⁵ Comentário de Minsky sobre o programa de jogo de damas desenvolvido por Samuel: "O que torna tal programa interessante e significativo não é simplesmente o fato de poder usar a tentativa e erro para resolver problemas. O que induz ao comportamento inteligente é a coleção de métodos e técnicas que selecionam o que deve ser tentado em seguida, que medem a situação e escolhem uma jogada plausível (nem sempre boa) e usam a informação ganha em tentativas anteriores a fim de dirigir as análises subsequentes para melhores direções" (Minsky, 1976, p.153).

IV.4 - MODELOS DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Atualmente, os modelos de redes neurais artificiais têm despertado esperanças nos estudos da cognição humana. Esses modelos possuem como características principais o processamento de informação de forma distribuída e paralela. Conforme vimos no capítulo III, uma rede é constituída por um número de processadores, denominados unidades *neurônio-símile* (UNS), fortemente conectados entre si através de conexões que podem passar um único sinal a outros elementos processadores. O sinal transmitido em cada unidade de processamento é excitatório ou inibitório e dessa forma influencia outras unidades de processamento. O sinal transmitido não é dividido: cada unidade transmite a outras unidades o *mesmo* sinal.

A origem dos modelos de redes neurais, como vimos no capítulo I, provém dos trabalhos de McCulloch e Pitts, apresentados na década de 40. Juntos estabeleceram as bases da neurocomputação, simulando através de procedimentos matemáticos o comportamento dos neurônios biológicos. O trabalho teórico desenvolvido por eles tinha como proposta modelos simples de redes que efetuam operações aritméticas e lógicas.

Com o desenvolvimento dos computadores, com grande capacidade de memória e processadores rápidos, o interesse maior das pesquisas voltou-se para a Inteligência Artificial com o desenvolvimento de sistemas especialistas que, por hipótese, poderiam representar o conhecimento humano. Nesses sistemas, toda informação necessária tem que ser informada e armazenada no computador para que este possa efetuar pesquisas, relações, calcular

frequências mais prováveis e então fornecer uma saída adequada. O procedimento é algorítmico e lógico, sobre representações simbólicas.

Apesar do sucesso dos sistemas especialistas, os modelos de redes neurais começaram a despertar a atenção dos pesquisadores com o desenvolvimento do modelo denominado Perceptron, criado por Rosenblatt em 1962 e utilizado principalmente para reconhecimento de caracteres.

Os modelos de redes neurais artificiais evoluíram muito desde a concepção de McCulloch e Pitts mas ainda existem alguns pontos importantes a serem discutidos. A discussão inicia-se com a própria definição de redes neurais. Lippmann (1987) considera que os modelos de redes neurais artificiais são especificados pela topologia da rede, pelas unidades de processamento e pelo tipo de treinamento ou regras de aprendizagem. Essas regras, conforme vimos no capítulo III, especificam um conjunto inicial de pesos e indicam como pesos podem ser adaptados durante o processamento para que a rede encontre um estado estável e produza sinais para as unidades de saída.

Para outros autores, as regras de aprendizagem não constituem parte integrante da rede. Essa e outras questões, como a topologia da rede, o procedimento e as regras de aprendizagem são os tópicos de estudos recentes.

Segundo Lippmann (1987), de uma forma geral, todos os modelos de redes neurais artificiais desenvolvidos buscam encontrar uma boa *performance* para aquisição do conhecimento através de uma grande quantidade de interconexões entre simples elementos computacionais, as UNS. Neste aspecto, a estrutura da rede é inspirada no presente entendimento do sistema

nervoso biológico.

Os modelos de redes neurais simulam a capacidade cerebral de processamento paralelo e distribuído da informação e, para tal, requerem computadores com multiprocessamento mas ainda estão muito distantes da performance humana. Tais modelos são, geralmente, simulados em máquinas com processamento seqüencial, do tipo máquina de Turing ou de von Neumann.

Os elementos computacionais ou UNS usados nos modelos de redes neurais artificiais não são lineares e podem ser representados, de uma forma simplificada, conforme a figura 5.

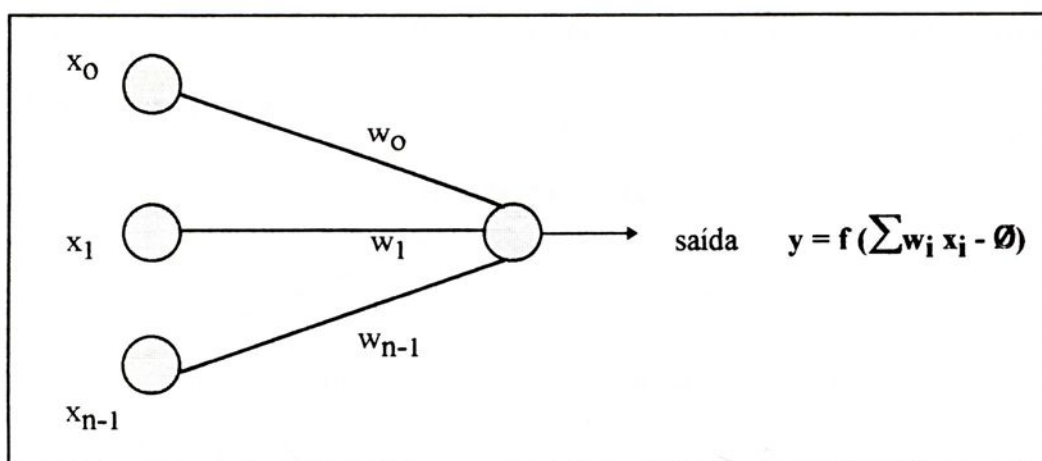


Figura 5 - Um modelo de rede neural (Lippmann, 1987).

Na figura 5, x_i representa o valor de entrada ou *input* transmitido às UNS através do canal de entrada; w_n representa o peso da conexão da unidade x_i com a unidade de saída y_i . A somatória dos pesos das conexões de entrada com as unidades de saída é computada pela função f , que é uma função não linear. Neste contexto, a função não linear é caracterizada como aquela cujo resultado não representa a soma das partes.

Cada UNS pode ser conectada a outras UNS e a força da conexão é representada por um valor denominado peso. Esses valores são armazenados na memória da UNS. A cada impulso de entrada, os pesos podem ser alterados e a função de transferência transmite o resultado às outras unidades.

As redes neurais podem ser construídas com topologias diferentes. A topologia é determinada pelo número de UNS de entrada, número de UNS de saída, número de camadas de UNS processadoras e pelas conexões que interligam essas unidades.

Lippmann (1987) apresenta uma taxonomia dos modelos de redes neurais construídos para classificação e reconhecimento de padrões, ilustrada na figura 6.

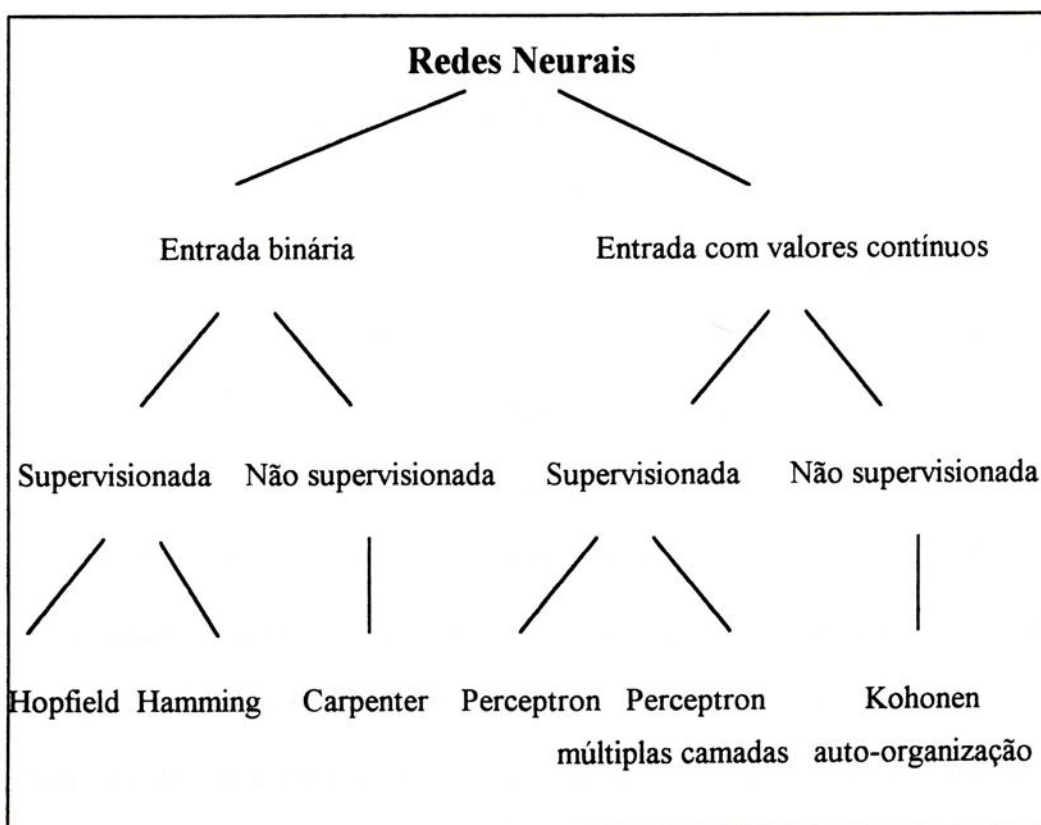


Figura 6 - Uma taxonomia dos principais modelos de redes neurais que são utilizados como classificadores (Lippmann, 1987, p.6).

Lippmann (1987) classifica primeiramente as redes neurais conforme os tipos de dados de entrada, que podem ter valores binários ou contínuos. Depois classifica as redes, conforme o treinamento, em supervisionadas ou não supervisionadas. Os modelos de redes neurais de Hopfield e Perceptron são considerados por Lippmann como supervisionados porque são fornecidas a eles as informações que especificam a classe correta dos novos padrões de entrada durante o treinamento. A rede de Kohonen utiliza um vetor quantificador para formação das classes, e não sendo fornecida a ela nenhuma informação concernente à classe correta durante o seu treinamento. A rede de Hopfield e a de Hamming são geralmente utilizadas com pesos fixos.

A classificação de Lippmann (1987) é apoiada no algoritmo clássico de cada tipo de rede, considerando que os modelos podem ser similares na tarefa de classificação de padrões. Os modelos de redes neurais também são utilizados com algumas alterações nos algoritmos clássicos. Em alguns casos são introduzidas camadas intermediárias de unidades de processamento e em outros a forma de cálculo dos pesos das conexões é alterada. Outras alterações são efetuadas nas regras de aprendizagem que podem ser adaptativas (ou não).

Conforme vimos no capítulo III, o estudo da cognição humana, nos modelos de redes neurais, normalmente envolve o conceito de aprendizagem ou adaptação. A noção de regra ou lei de aprendizagem em uma rede foi inspirada na hipótese introduzida por Hebb. A natureza das regras de aprendizagem é objeto de debate e pesquisa nos tempos atuais. Além do questionamento se a regra pertence ao modelo, as redes exibem tipos diferentes de regras de

aprendizagem, dependendo da tarefa ou situação que se deseja investigar. A regra de aprendizagem de Hebb pode ser caracterizada através da equação (5) abaixo.

$$w_{ij}^{\text{atual}} = w_{ij}^{\text{anterior}} + y_{ki} * x_{kj} \quad (5)$$

Na regra de aprendizagem de Hebb, w_{ij} representa o peso da conexão entre a unidade i e a unidade j , x_{kj} representa o sinal de entrada e y_{ki} o sinal de saída produzido.

A regra de aprendizagem introduzida no modelo Perceptron, por exemplo, é uma *função* que controla a alteração dos pesos das conexões em cada instante de processamento. Os pesos são inicializados aleatoriamente e os impulsos excitatórios ou inibitórios são calculados através da soma ponderada dos pesos de entrada multiplicada pelos valores dos *inputs* da rede. A rede é treinada para reconhecimento dos padrões de entrada. O treino é constituído por repetição de eventos que possibilita à rede estabelecer relações entre entrada e saída.

No modelo clássico de Hopfield, o processo de aprendizagem é efetuado através da associação dos padrões para os quais a rede será treinada para reconhecer. A partir do treinamento inicial, a rede de Hopfield pode reconhecer padrões de entrada mesmo que esses não se apresentem na forma original. Os padrões podem se apresentar corrompidos por ruído e através das iterações a rede reconstitui o padrão para o qual foi treinada.

Já no modelo desenvolvido por Kohonen, a aprendizagem é denominada competitiva. Os pesos das conexões são atribuídos aleatoriamente quando a rede é inicializada e os *inputs* de entrada são transmitidos para uma população de UNS. Através da soma dos pesos, uma região de UNS é fortalecida.

As unidades competem entre si até que apenas uma represente a relação informacional.

Os exemplos citados acima ilustram a diversidade de modelos investigados por pesquisadores cognitivos. De uma forma geral, as redes neurais, independente do seu algoritmo clássico, apresentam comportamentos para os quais não foram programadas. O algoritmo apenas estabelece alguns parâmetros básicos da rede, como a quantidade de UNS de cada camada da rede, a função de ativação, a função de aprendizagem, a função de convergência e a função de saída. A rede, inicialmente, pode produzir respostas incorretas. Através de mecanismos de ajustes dos pesos na memória que são as regras de aprendizagem a rede estabelece relações entre os eventos adquirindo novas estruturas informacionais. O processamento da informação é efetuado de forma distribuída e paralela através das UNS que interagem entre si.

Em resumo, os modelos de redes neurais possuem uma grande variedade de modelos com funções de aprendizagem diferentes. Normalmente as regras de aprendizagem são derivadas da lei de Hebb segundo a qual a repetição dos eventos resulta no fortalecimento de algumas conexões, que passam a representar a relação informacional entre o padrão de entrada e o padrão de saída.

A simulação do processo de aprendizagem, nos modelos de redes neurais, envolve a consideração dos elementos físicos que podem alterar um certo comportamento e produzir novas representações através dos processos associativos. A seguir apresentamos o modelo de Hopfield com o qual realizamos a simulação de aprendizagem de padrões.



IV.5 - RECONHECIMENTO DE PADRÕES NO MODELO DE HOPFIELD

Vários modelos computacionais foram desenvolvidos com o objetivo de investigar os processos associativos envolvidos no mecanismo de aprendizagem. Para ilustrar o nosso trabalho escolhemos o modelo desenvolvido por Hopfield em 1980. Nesse modelo de rede, além do processo associativo, Hopfield introduziu a noção de *função energia*, relacionando os modelos de redes neurais com outros sistemas físicos (Beale & Jackson, 1994). Consideramos também que esse modelo, por envolver aprendizagem supervisionada e utilizar valores discretos para representar os padrões visuais, permite uma melhor avaliação dos processos executados na simulação computacional.

As redes de Hopfield foram desenvolvidas para desempenhar três tipos distintos de tarefas: a) identificar a classe de um padrão afetado por ruído ou por outro processo; b) analisar parte do padrão e identificar o padrão correto através da memória associativa; e c) quantificar vetores de N entradas para M classes, identificando o padrão correto.

A concepção básica do modelo de Hopfield é representada por um conjunto de unidades *neurônio-símile* (UNS) fortemente conectadas. Cada UNS é conectada a todas as outras UNS e os valores dos pesos das conexões são simétricos. O peso de uma ligação de uma unidade i com a unidade j é o mesmo em ambas as direções. Cada UNS possui um limite e uma função de etapa. As UNS somam as quantidades de ativação provenientes de outras unidades, ampliando-as ou reduzindo-as através dos pesos, verificam o limite determinado

pela função energia e passam o valor para a saída. Os valores das entradas e saída são binários (0 e 1) ou bipolares (-1 e 1). A estrutura básica da rede de Hopfield é ilustrada na figura 7.

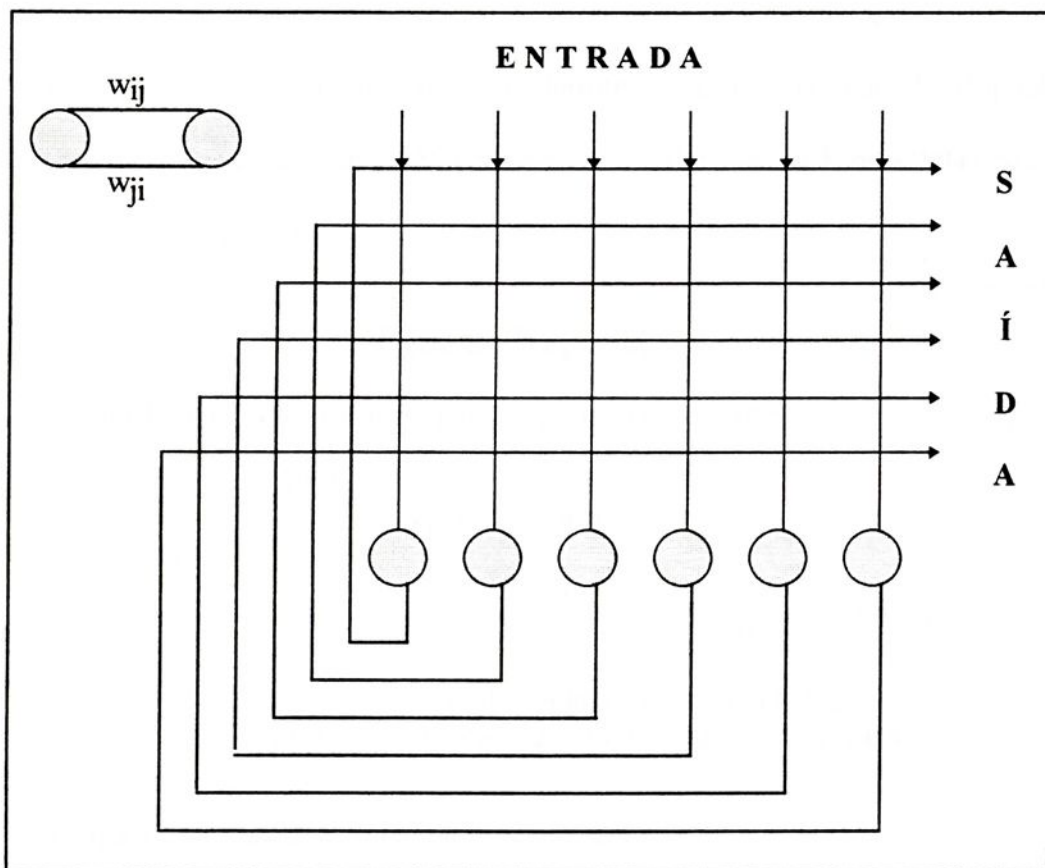


Figura 7 - Representação de uma rede de Hopfield constituída por uma camada com seis unidades de processamento (Caudill & Butler, 1992, p.113).

Nesse modelo, as unidades de entrada são as mesmas de saída. Ele possui memória autoassociativa, onde os padrões de entrada são associados entre si, sendo formado por uma única camada de unidades de processamento. Cada unidade de processamento é conectada com todas as outras unidades. Entre duas unidades, existe apenas uma única conexão, bidirecional, por onde são transmitidos os sinais. As conexões são representadas por uma matriz denominada

matriz de pesos cuja dimensão depende da unaridade dos vetores que representam os padrões de entrada.

Os padrões visuais de entrada utilizados na simulação em nosso modelo prático foram representados através de valores bipolares. Na primeira parte do nosso estudo, utilizamos o algoritmo clássico da rede de Hopfield apresentada por Lippmann (1987) e também por Beale & Jackson (1994) como mostramos na figura 8.

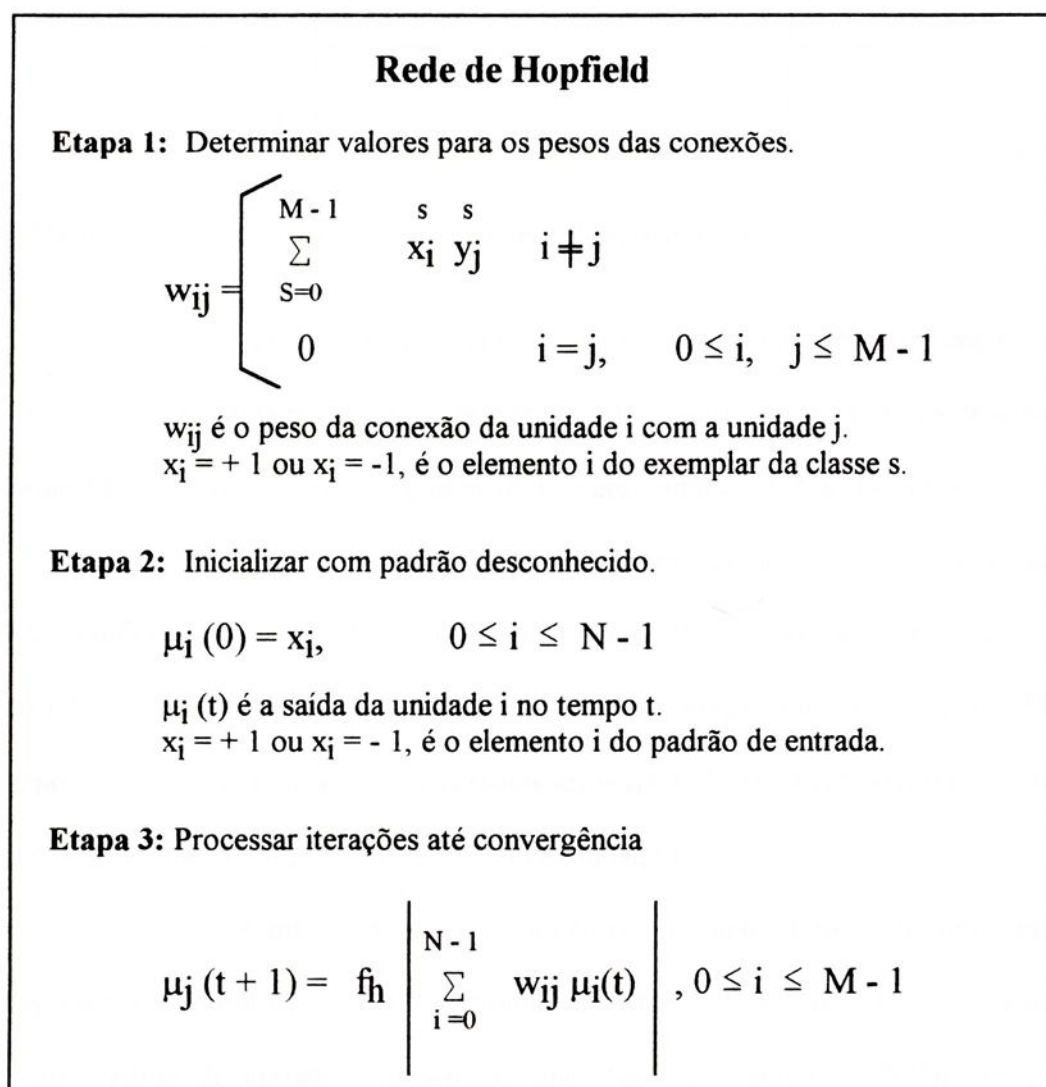


Figura 8 - Algoritmo clássico da rede de Hopfield (Lippmann, 1987, p.8; Beale & Jackson, 1994, p.136).

A função f_h , no modelo de Hopfield, é uma função não linear. Dois exemplos de funções que podem ser utilizadas nesse modelo são identificados na figura 9.

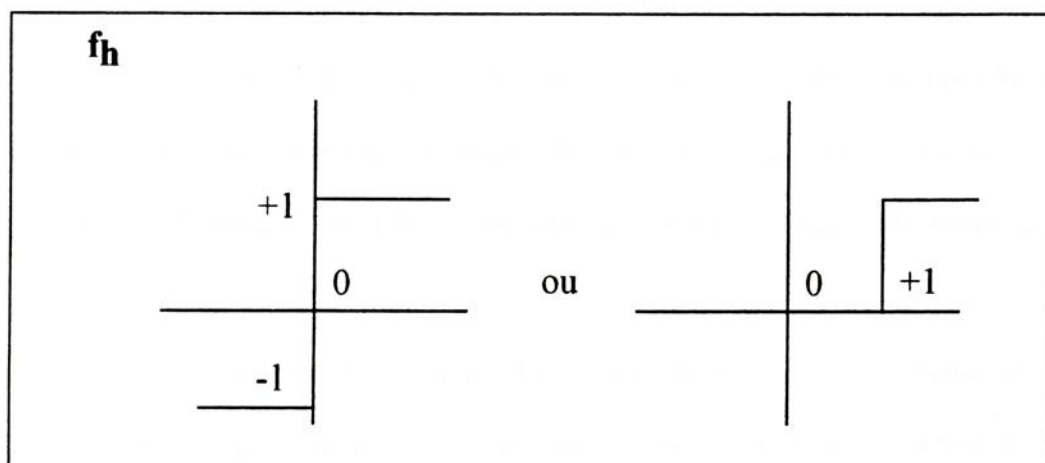


Figura 9 - Exemplos de função não linear (Lippmann, 1987).

A função f_h calcula o limite não linear. O processo se repete até que as UNS de saída permaneçam inalteradas após as iterações. As UNS de saída podem representar o exemplar que melhor se aproxima do padrão de entrada.

Na primeira etapa os padrões para os quais a rede será treinada são codificados na forma de vetores e uma matriz $\mathbf{W}$ é usada para armazenar os padrões de entrada na memória da rede. Como nos demais modelos, a matriz $\mathbf{W}$ representa os valores dos pesos das conexões entre as UNS. Assim w_{ij} representa a força da conexão entre a unidade i com a unidade j .

A matriz $\mathbf{W}$ é construída através da multiplicação do valor que representa a ordem i do vetor de entrada do padrão $\mathbf{x}$ pelo valor de ordem j de outro padrão de entrada representado pelo vetor $\mathbf{y}$. Caudill & Butler (1992) apresentam o cálculo da matriz de pesos $\mathbf{W}$ através da fórmula $\mathbf{W} = \mathbf{M}^T \cdot \mathbf{M}$. A

matriz **M** é constituída pelos padrões de treinamento da rede. Cada linha da matriz **M** é formada pelo vetor que representa o padrão de entrada.

Após o cálculo da matriz de pesos, a segunda parte do algoritmo de Hopfield descreve o procedimento para apresentação de um padrão de entrada. Através dos pesos das conexões entre as UNS, representada por **W**, e de iterações a rede identifica o padrão de entrada em relação aos padrões já conhecidos. A ativação das UNS é alterada conforme uma função não linear, em cada iteração.

Para cada configuração da rede de Hopfield é associada uma função energia que calcula a sua energia mínima. Na função energia (6), apresentada abaixo, ϕ é o limite da função e w_{ij} é o peso da conexão da unidade *i* com a unidade *j*.

$$E = - \frac{1}{2} \sum_{i,j} x_i w_{ij} y_j + \sum_j y_j \phi \quad (6)$$

Segundo Beale & Jackson (1994), a rede de Hopfield pode ser melhor entendida em termos de *campo de energia*, formado pela matriz de pesos dos padrões utilizados no treinamento da rede. O campo de energia possui pontos de energia mínima, também denominados pontos atratores, que representam os padrões armazenados na rede. No reconhecimento de um padrão de entrada a função energia, ilustrada na figura 10, direciona a rede para uma solução através de iterações entre os pontos de energia mínima e os impulsos do novo padrão. Um padrão de saída será produzido quando a rede encontrar um estado estável. Para melhor entendimento de um campo de energia os autores sugerem que podemos pensá-lo, de forma intuitiva e tridimensional, como se fosse um campo

com várias elevações e buracos. Uma bola jogada nesse campo irá mover-se em direção a um dos buracos até estabilizar-se.

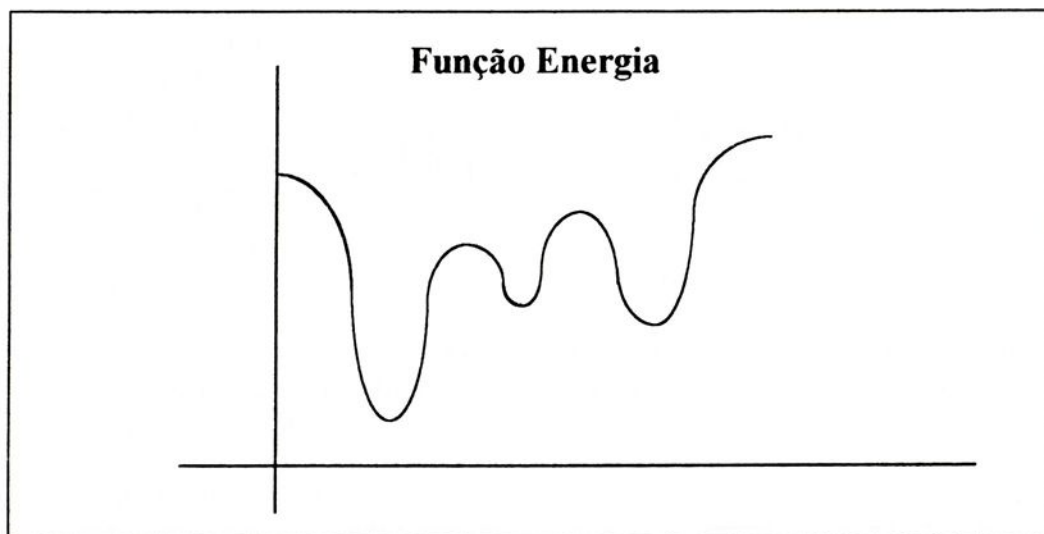


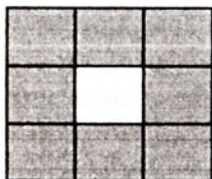
Figura 10 - Função energia da rede de Hopfield (Beale & Jackson, 1994, p.80).

No algoritmo clássico de Hopfield, a função calcula a atividade da unidade em relação às outras unidades e ao padrão de entrada. Se o resultado for um valor positivo, o valor 1 é o sinal transmitido pela unidade. Se o valor for negativo, o sinal de saída é -1. Se o valor for zero, o sinal de saída é o valor de entrada. Os sinais de saída produzidos pela rede são os valores de entrada na próxima iteração. A aprendizagem da rede é caracterizada então por uma adaptação dos sinais produzidos a cada iteração. A rede estabiliza quando os sinais de saída produzidos a cada iteração não são mais alterados.

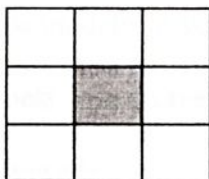
A primeira parte de nosso exemplo prático foi realizada com a implementação de uma rede neural utilizando o algoritmo clássico de Hopfield. Na figura 11 apresentamos os padrões de treinamento utilizados e alguns dos resultados obtidos com a implementação da rede de Hopfield.

Rede de Hopfield

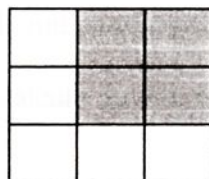
Padrões de treinamento:



Padrão A



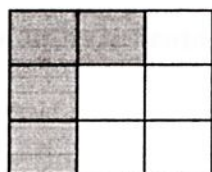
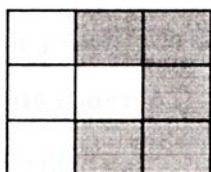
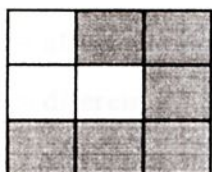
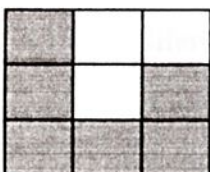
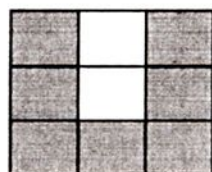
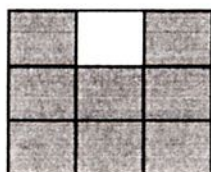
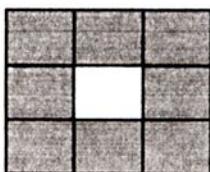
Padrão B



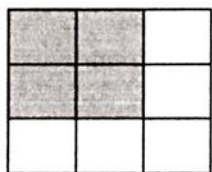
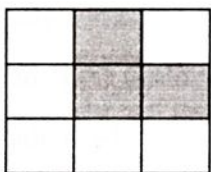
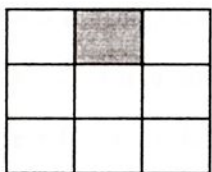
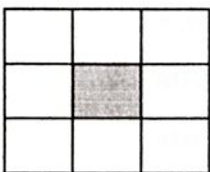
Padrão C

O grupo 1 é constituído pelos padrões de entrada que produziram um padrão de saída igual ao padrão A. Os grupos 2 e 3 correspondem aos padrões B e C, respectivamente.

Grupo 1 - Padrão A



Grupo 2 - Padrão B



Grupo 3 - Padrão C

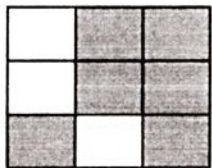
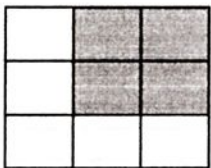
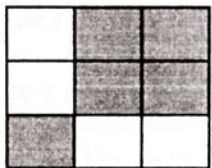
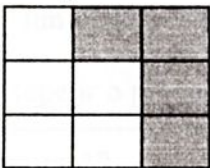


Figura 11 - Resultados obtidos com a implementação de uma rede neural com o algoritmo clássico de Hopfield.

Na segunda etapa do nosso trabalho prático, simulamos o reconhecimento de padrões com o algoritmo de Hopfield, ilustrado na figura 12, apresentado por Caudill & Butler (1992, p.115) que introduz a noção de *feedback* ou retropropagação. Nesse modelo, o vetor de um padrão de entrada é associado à última saída produzida pela rede através do cálculo da diferença entre o valor da última saída e o valor de entrada.

Rede de Hopfield

Inicializar as unidades de saída com +1 (valor arbitrário por conveniência).

Aplicar o padrão de entrada (padrão de entrada i para unidade i).

Para cada unidade i

atividade = 0

Para cada unidade j , exceto se $i = j$

diferença = atividade unidade j - entrada do padrão elemento i

resultado = diferença * peso da conexão ij

atividade = atividade + resultado

fim para cada unidade

Se **atividade** > 0, saída da unidade $i = +1$

atividade = 0, saída da unidade $i = i$ (valor anterior)

atividade < 0, saída da unidade $i = -1$

fim do teste da atividade

fim para cada unidade i da rede

Repetir o processo até a rede estabilizar.

Figura 12 - Algoritmo de Hopfield com retropropagação. (Caudill & Butler, 1992, p.115).

A seguir, apresentamos nas figuras 13, 14 e 15 alguns dos resultados obtidos com a implementação do modelo de Hopfield com retropropagação, divididos em cinco grupos. Nesse modelo, a última saída produzida exerce influência no reconhecimento de um padrão de entrada.

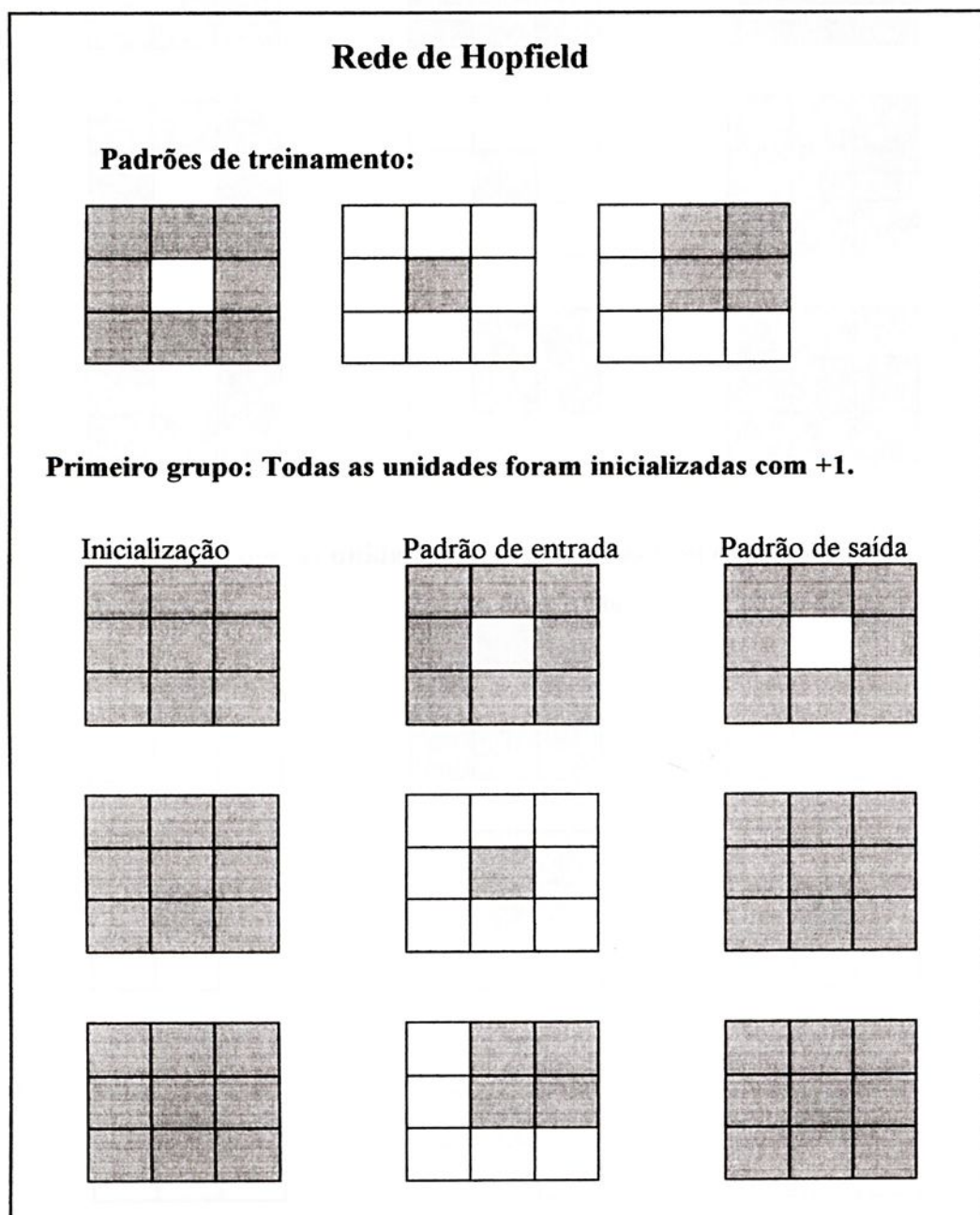
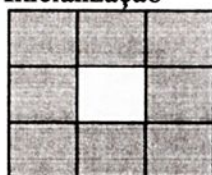


Figura 13 - Primeiro grupo de resultados obtidos na implementação da rede de Hopfield com retropropagação.

Rede de Hopfield

Segundo grupo: As unidades foram ativadas com o padrão A.

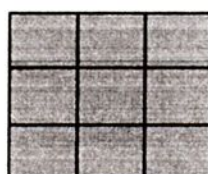
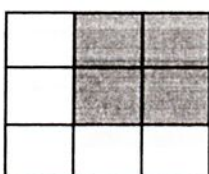
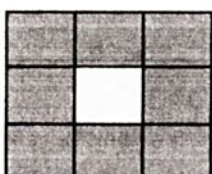
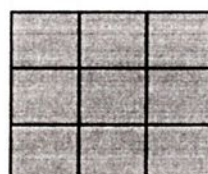
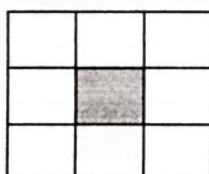
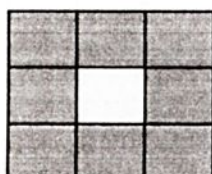
Inicialização



Padrão de entrada

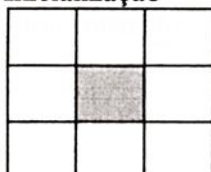


Padrão de saída

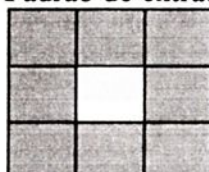


Terceiro grupo: as unidades foram ativadas com o padrão B.

Inicialização



Padrão de entrada



Padrão de saída

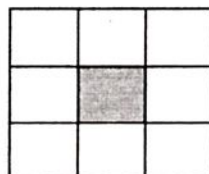
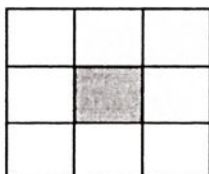
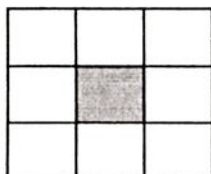
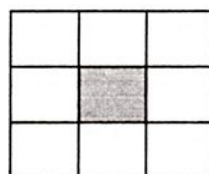
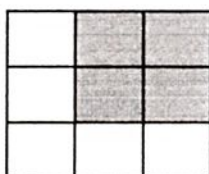
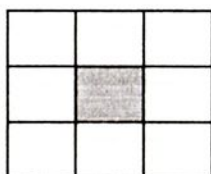
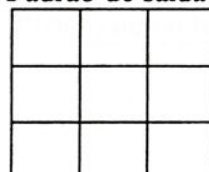
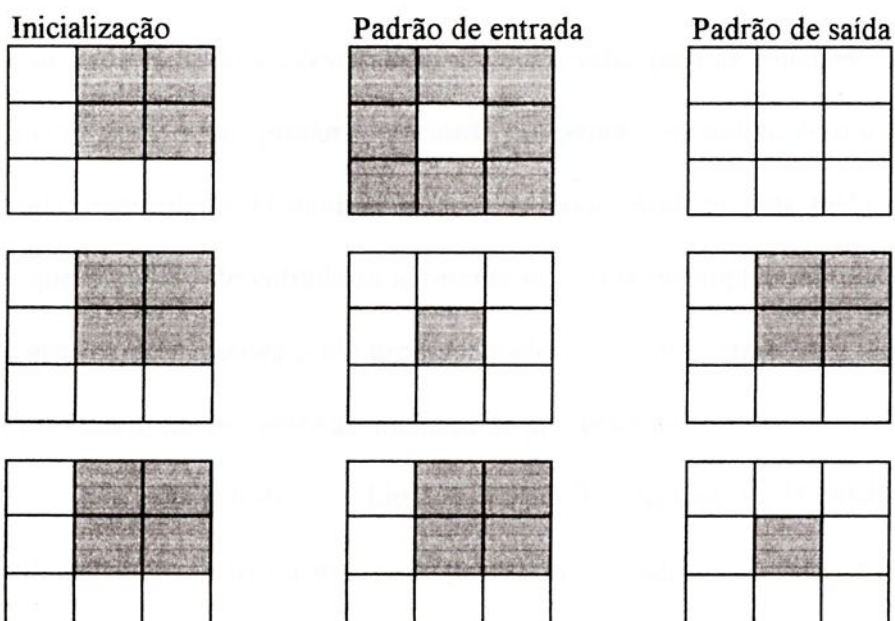


Figura 14 - Segundo e terceiro grupo de resultados da implementação da rede de Hopfield com retropropagação.

Rede de Hopfield

Quarto grupo: As unidades foram ativadas com o padrão C.



Quinto grupo: As unidades foram ativadas com -1.

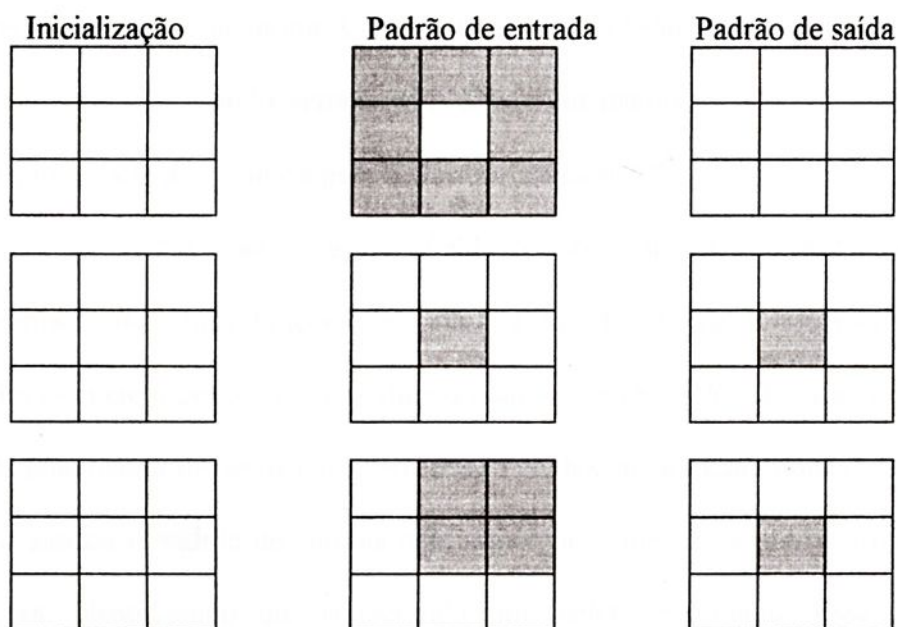


Figura 15 - Quarto e quinto grupo de resultados da implementação da rede de Hopfield com retropropagação.

Nas redes que utilizam padrões associativos a aprendizagem dos padrões é estabelecida por um algoritmo que transforma em pesos os impulsos dos estímulos externos. A partir da apresentação de um padrão de entrada, a rede calcula em cada ciclo do processamento um novo valor para as unidades. Através do processo associativo, procura relacionar um padrão aprendido com o padrão de entrada apresentado. O modelo associativo pode produzir uma saída correta mesmo que o padrão de entrada se apresente de forma incompleta ou distorcido. A rede através de iterações pode produzir padrões corretos através da alteração dos valores das conexões entre as unidades de processamento.

De acordo com Lippmann (1987), o modelo de Hopfield não é muito eficiente quando os vetores que representam os padrões não são ortogonais e as unidades de memória são compartilhadas por dois padrões. No nosso caso, escolhemos exemplos que não são ortogonais e os padrões compartilham as mesmas unidades de memória. Conforme Gonzales (1986, p.115) esse problema pode ser resolvido usando vetores com dimensões maiores. Essa solução requer maior capacidade de memória para simulação do modelo.

Na rede de Hopfield o processo de aprendizagem é representado por duas funções. A primeira função realiza a associação dos padrões com ele mesmo e com os outros padrões de exemplo. Dessa associação, resulta uma matriz de pesos que representa o conhecimento adquirido. A segunda função associa o padrão de entrada com a memória (matriz de pesos) através de iterações, identificando ou recuperando um padrão aprendido. Essa função verifica os pontos atratores da rede através da avaliação do padrão de atividade

das unidades de processamento.

IV.5 - LIMITES E ALCANCE DA CIÊNCIA COGNITIVA

O nascimento da Ciência Cognitiva foi acompanhado por uma euforia por parte de alguns pesquisadores. Eles previam que, em aproximadamente dez anos, os estudos desenvolvidos por essa ciência desvendariam os “mistérios” da mente e os computadores exibiriam comportamentos que se assemelhariam aos processos mentais humanos. Exageros à parte, essas previsões não foram ainda realizadas apesar dos avanços tecnológicos e científicos das últimas décadas.

Por outro lado, apesar da resistência cultural e das dificuldades envolvidas no entendimento dos aspectos mentais, a Ciência Cognitiva comprovou a validade da utilização de modelos computacionais como ferramentas auxiliares no entendimento de alguns desses aspectos, como por exemplo: a caracterização e delimitação das funções da memória, a importância das representações mentais nos mecanismos de aprendizagem e outros.

No entanto, muitos pesquisadores são críticos do programa e das linhas de ação da Ciência Cognitiva porque, em sua maioria, contestam a validade das simulações dos processos mentais em computadores. O debate sobre os limites da pesquisa cognitiva em computadores tem como figuras centrais os filósofos Dreyfus (1975; Pessis-Pasternak, 1993) e Searle (1984; 1997).

Dreyfus rejeita o programa da Ciência Cognitiva porque a mente humana, em sua opinião, não pode ser comparada ou imitada por uma



máquina. O autor considera que não se pode comparar o pensamento realizado pelo ser humano - que é complexo porque envolve intuição e elementos decorrentes do uso da linguagem tais como analogias, metáforas, etc. - com o “pensamento” simulado nos modelos computacionais, que envolvem apenas inferências lógicas. Seguindo essa linha de pensamento, Dreyfus comenta:

“Não tenho nada contra a idéia de que o computador possa ser inteligente, contesto somente a hipótese dos ‘sistemas de símbolos físicos’, ou seja, a teoria segundo a qual nós, humanos e computadores, somos duas ‘espécies’ da mesma ‘raça’, em especial daquela que utiliza ‘símbolos’ para representar o mundo exterior. Essa concepção não condiz com a verdadeira inteligência” (In: Pessis-Pasternak, 1993).

Já para o filósofo Searle, a principal crítica ao programa da Ciência Cognitiva é direcionada ao seu aspecto lógico-abstrato, destituído de uma história biológica. Searle, aparentemente, nada tem contra a hipótese mecanicista da mente. Para ele, a mente é uma máquina *biológica* e como tal não possibilita um estudo, como o da Inteligência Artificial, que não envolva a consideração de seu sistema biológico. Assim sendo, na opinião de Searle uma ciência da mente deve envolver também o estudo do cérebro e conceber a mente como um fenômeno *biológico* com um lugar especial no cérebro.

Para o autor, os conhecimentos que temos do funcionamento do cérebro são escassos e a maioria das teorias sobre a mente dependem dessa ignorância. Ele sugere então um estudo da mente que envolva a descrição do sistema biológico em dois níveis de descrição: “um nível superior em termos mentais e um nível inferior em termos fisiológicos” (Searle, 1984, p. 32).

Contestações ao estudo da mente nos níveis macro e micro

provêm de pesquisadores que concebem a validade do estudo das representações mentais nestes dois níveis. Assim, para pesquisadores, como por exemplo das redes neurais, as representações mentais constituem um nível intermediário entre o micro e o macro sistema. Tal contestação não satisfaz Searle à medida que ele entende que esse estudo das redes neurais não incorpora a informação da história biológica que para ele é fundamental no entendimento da mente humana.

Contudo, a crítica mais contundente de Searle é dirigida ao programa da corrente funcionalista computacional porque esta sugere o estudo da mente sem se importar com a sua instanciação física. A crítica de Searle provém das suas pressuposições iniciais sobre a mente: (1) Os fenômenos mentais são causados por processos que têm lugar no cérebro. (2) Os fenômenos mentais são justamente características do cérebro.

Com as pressuposições (1) e (2), Searle atribui uma importância fundamental ao cérebro nas funções da mente. O autor não aceita o funcionalismo computacional justamente porque essa corrente propõe o estudo da mente de forma independente da sua instanciação física. Além disso, para ele, o estudo da mente deve em sua organização envolver quatro características básicas⁵: (1) consciência; (2) subjetividade; (3) intencionalidade; e (4) causação mental.

As críticas de Searle abrangem também o programa da Inteligência Artificial clássica, com o intuito de desqualificar a metodologia de simulação dos estados mentais da Inteligência Artificial, através da elaboração de

⁵ No livro *Mente, Cérebro e Ciência*, publicado em 1982, Searle caracteriza e desenvolve os aspectos que estão subjacentes aos estudos da mente humana, conforme sua teoria do mental.

modelos computacionais, Searle cria uma história que denomina “a história do quarto chinês”. Nela, ele imagina uma pessoa, que não entende chinês, trancada num quarto com uma lista de caracteres chineses e um livro de instruções. Lendo as instruções, escritas em sua língua nativa, essa pessoa pode responder corretamente às perguntas escritas em caracteres chineses por um interlocutor que se encontra fora do quarto. As respostas seriam fornecidas através dos cartões escritos em chinês. Dessa forma, o interlocutor pode ter a impressão de que a pessoa que se encontra no quarto entende chinês quando, na verdade, ela estaria apenas seguindo regras preestabelecidas sem possuir compreensão do chinês.

A moral da história é que da mesma forma que a pessoa presa no quarto, ao manipular regras preestabelecidas, não entende chinês, não entenderemos os estados mentais através da elaboração de programas com suas regras fixas. Isso porque o computador, da mesma forma que a pessoa trancada no quarto, não tem “consciência” das operações que executa e só processa caracteres ou procedimentos lógicos que possuem o aspecto sintático e não semântico. Assim sendo, embora o computador ou a pessoa trancada no quarto manipule símbolos através de um procedimento formal, ele (ela) não consegue ligar significado à manipulação simbólica.

Em resumo, o que a crítica de Searle procura mostrar é que a mera manipulação de regras, por si só não constitui condição nem necessária nem suficiente para explicar o caráter significativo subjacente à atividade cognitiva simbólica. Como os programas computacionais só executam regras, deixam de lado o aspecto semântico das representações.

Entre as várias críticas direcionadas a Searle, destaca-se aquela de Dupuy (1996) segundo a qual Searle não recusa apenas a metodologia da Inteligência Artificial. Na opinião de Dupuy, Searle se recusa também a entender que o desenvolvimento da ciência ocidental instituiu a identificação entre pensamento e produção de modelos. Nesta linha de pensamento, Dupuy comenta:

“... se aceitarmos que o pensamento é (sempre) já simulação -, por que negaríamos à simulação a qualidade de pensamento?”

John Searle não vê, ou se recusa a ver, aquilo sobre que insistiremos neste livro. A revolução copernicana introduzida pela “ciência da mente” terá realizado uma desconstrução da metafísica da subjetividade que vai muito mais longe do que o processo filosófico que adotou esse nome” (Dupuy, 1996, p.41).

Na mesma linha de raciocínio de Dupuy, Atlan (1992) considera que a teoria que concebe o homem como um sistema fechado, que dominou os séculos XIX e XX como o *único* detentor da razão para explicar o resto do mundo, está sendo substituída pela imagem de um novo homem. Essa nova concepção parte da constatação que não existe apenas “um homem que utilize a razão para criar e gerir, de maneira consciente e coerente” (Atlan, 1992, p.113-4).

Outra constatação que o avanço científico vem desmitificar é a imagem do homem como totalmente responsável por seu discurso e seus atos. Ao invés de senhor absoluto de seus atos a nova ciência destaca a importância do acaso na organização dos seres vivos. Assim, Atlan sugere um estudo dos processos mentais humanos através de sistemas complexos, auto-organizadores, onde existe a consideração do *acaso organizacional* que permite a esses sistemas reagirem a agressões aleatórias.

De uma forma geral, as críticas ao programa da Ciência Cognitiva são ligadas às promessas e ao exagero do vocabulário utilizado por certos pesquisadores cognitivos, conforme já citamos no início desta seção. Termos como “sentir”, “crer”, “julgar”, “pensar”, etc. são utilizados muitas vezes, nos modelos, para ilustrar procedimentos computacionais restritos e que não podem ser comparados à abrangência e ao significado dos processos cognitivos.

Numa posição intermediária, entre os críticos fervorosos e os adeptos das hipóteses mecanicistas da Ciência Cognitiva, podemos citar as considerações do filósofo Putnam (1992) que foi um dos pioneiros da Inteligência Artificial. Apesar de ter sido o pai do funcionalismo computacional Putnam na sua obra de 1992 faz uma análise crítica às suas próprias hipóteses acerca dos modelos computacionais da mente. Atualmente ele vê suas antigas hipóteses como caracterizando uma visão reducionista e simplista do mental. O autor considera que o seu atual pessimismo sobre o poder dos modelos computacionais não pode ser considerado como uma forma de ceticismo em relação à Ciência Cognitiva. Para Putnam, tanto os estudos restritos aos processos computacionais (seus próprios estudos dos anos 60) como os estudos neurológicos são reducionistas. Ele considera que o reducionismo, como único entendimento da mente, é uma visão desgastada, apesar de possuir muita força na cultura científica. Putnam sugere que o estudo da cognição humana, mesmo utilizando algumas vezes recursos reducionistas para o entendimento de certos procedimentos mentais, no seu conjunto não deve ser reducionista.

Putnam (1992) assume atualmente posições bem diferentes

daquelas funcionalistas apresentadas no capítulo II dando hoje dá ênfase ao perspectivismo. Ele julga que o fato de existirem várias perspectivas de um mesmo fenômeno é enriquecedor para os modelos explicativos do mesmo. Assim, os modelos da inteligência devem envolver várias perspectivas, entre elas: histórica, econômica, social, etc.

As considerações acima, de vários autores (Searle, Dupuy, Atlan e Putnam), sugerem que a curta existência da Ciência Cognitiva pode dizer muito pouco em relação ao seu futuro. A nova ciência tem mostrado que alguns processos mentais podem ser simulados ou investigados nos modelos computacionais. Mas a maior preocupação dos cognitivistas tem sido o grau de complexidade envolvido nesses modelos e sua adequação para explicar os processos mentais na sua totalidade.

Não podemos negar que a tecnologia vem surpreendendo o mundo e, sem entrar no mérito de seus benefícios e efeitos nocivos, consolida a utilização do computador como fator de investigação, integração e globalização dos estudos científicos. Além disso, os programas computacionais desenvolvidos na Ciência Cognitiva, que são utilizados em várias áreas do conhecimento, tornam possível a automação de uma série de tarefas que em princípio pareciam impossíveis de serem realizadas por um computador.

Em resumo, no presente capítulo verificamos inicialmente a concepção de *procedimento efetivo*. Este sugere a possibilidade de estruturar um problema através de um número finito de etapas, as quais, por sua vez, contêm um número finito de operações simbólicas. A noção de procedimento efetivo foi



utilizada para representar a concepção de máquinas computadoradas.

Verificamos também nesse capítulo que a definição formal da máquina de Turing pode ser realizada através de um procedimento efetivo, como uma máquina de estado finito. Este recurso é conveniente porque descreve a estrutura e o comportamento da máquina, completamente. Trata-se de uma forma de simplificar a característica infinita da máquina de Turing.

Vimos que, nos estudos cognitivos, os modelos da Inteligência Artificial simulam, numa máquina de Turing, os mecanismos de aprendizagem com o pressuposto de que o processamento de informação contido nestes mecanismos é seqüencial. Por outro lado, os modelos aqui avaliados, com processamento distribuído em paralelo, apesar de não serem por natureza seqüencial, também podem ser simulados em máquinas seqüenciais. Essa é uma prática comum quando pesquisadores não dispõem de uma máquina connexionista para realizar seus experimentos.

O nosso trabalho prático foi realizado com a implementação do modelo de Hopfield para o reconhecimento de padrões visuais, com a finalidade de exemplificar o processo de aprendizagem subjacente a esse modelo. Tal modelo prático foi realizado em um computador serial e não em uma máquina connexionista. Dessa forma, no *plano da simulação*, não podemos citar grandes diferenças entre os modelos computacionais da Inteligência Artificial tradicional e aqueles das redes neurais, visto que foi possível simular o processamento paralelo e distribuído numa máquina serial.

No *plano mais específico*, isto é, na simulação do processo de



aprendizagem através de padrões visuais, entendemos que o modelo de Hopfield apresenta a capacidade de recuperar os padrões aprendidos a partir de padrões corrompidos por excesso e por falta da informação. A rede de Hopfield tem a capacidade de recuperar o padrão através da iteração dos impulsos de entrada com os pesos das conexões das unidades de processamento.

A representação dos padrões é baseada na memória local que apresenta pontos atratores que armazenam as relações entre os vetores de entrada. A modelagem que se faz, tanto nas redes neurais quanto na Inteligência Artificial tradicional, é sustentada na capacidade de memória da máquina. As diferenças mais significativas entre os modelos de redes neurais situam-se na forma de armazenar e executar a informação.

O mecanismo de aprendizagem é representado nos modelos de redes neurais por processos associativos. Conforme vimos nos modelos apresentados, um padrão de treinamento pode ser associado a ele mesmo ou a outros padrões, dando origem à matriz de pesos. Depois, a rede efetua iterações através de uma associação entre o padrão de entrada desconhecido e a memória local que representa a estrutura do conhecimento já adquirido. Assim, os mecanismos de aprendizagem nos modelos de redes neurais resumem-se essencialmente a dinâmicas de associações de padrões na memória.

Finalizando o nosso trabalho, colocamos resumidamente e de forma geral as críticas mais representativas ao programa da Ciência Cognitiva com a finalidade de identificar as principais dificuldades para consolidação da nova ciência. Vimos, em particular as críticas de Dreyfus, Searle e Putnam.

Não faz muito tempo, acreditávamos que a imagem científica final do mundo seria bela, ordenada e simples. Mas à medida que o esboço prosseguia fomos tendo várias surpresas. A beleza lá estava, não porém do tipo que supúnhamos. A ordem lá estava, não contudo uma ordem destinada a dirimir nossas dúvidas. A simplicidade desaparecera.

C. P. Snow (In: Lapp et al., 1982, p.7)



NOTAS FINAIS

O ponto de partida dessa dissertação foi a investigação dos princípios gerais dos modelos de redes neurais artificiais e a verificação de como alguns aspectos dos processos mentais são simulados nesses modelos. Por se tratar de um assunto muito amplo, nosso enfoque centrou-se nos mecanismos de aprendizagem envolvidos no reconhecimento de padrões visuais. A partir da hipótese de que os modelos de redes neurais podem auxiliar no esclarecimento do processo de aprendizagem, na tarefa de reconhecimento de padrões, realizamos uma investigação dos princípios básicos subjacentes a esse processo.

Iniciamos nosso trabalho revendo a origem do estudo sistemático do conhecimento humano, o qual remonta à Grécia Antiga, com as tradições distintas de Platão e Aristóteles. Sugerimos que essas tradições vieram a se fortalecer a partir do século XVII com as correntes racionalista e empirista. Por um lado encontramos Descartes, que concebeu o conhecimento de forma mentalista: o homem conhece a verdade do mundo refletindo sobre suas próprias idéias. Foi Descartes um dos primeiros filósofos a fundamentar sistematicamente a tese das representações mentais que teriam como principal função a estruturação do pensamento. De forma antagônica, a corrente empirista, opondo-se ao cartesianismo, concebe que o conhecimento se inicia pela percepção. Através das percepções são construídas estruturas que permitem a associação de idéias e os pensamentos mais complexos. A história do conhecimento novamente parece dividir-se em duas grandes formulações que influenciam a Ciência Cognitiva na



atualidade.

Além da herança filosófica, uma grande contribuição para a Ciência Cognitiva foi o desenvolvimento da tecnologia e as primeiras relações entre máquina e cérebro originadas da Cibernética. A concepção de Turing de uma máquina teórica, que poderia executar cálculos através de procedimentos efetivos, proporcionou uma nova perspectiva de estudo da inteligência. Aliado aos princípios de retroação e propósito em aparelhos servomecânicos, a Cibernética produziu uma teoria mecanicista da mente que influenciou, desde então, os estudos da cognição.

Com objetivos polêmicos, a história da tecnologia prossegue sem se preocupar muito com a metáfora computacional da mente. A teoria da Informação de Shannon, sem estabelecer uma relação direta entre mentes e máquinas, revoluciona o pensamento da época. Mas são os trabalhos de Neumann que concretizam a idéia da máquina de Turing e impulsionam o desenvolvimento dos computadores baseados no processamento lógico-serial, na Inteligência Artificial. Junto com o desenvolvimento das máquinas computadoras aparecem também as primeiras tentativas de simular os estados cognitivos nesses equipamentos.

Por outro lado, a concepção de McCulloch e Pitts cria uma nova linha de pesquisa inspirada na arquitetura do cérebro humano. Eles caracterizam uma máquina connexionista com processamento distribuído em paralelo, introduzindo a idéia de iterações entre estruturas informacionais na memória através de processos associativos.



As duas concepções iniciais dos modelos cognitivos da Ciência Cognitiva introduzem duas formas de investigação da natureza dos estados mentais: uma apontando para um modelo lógico e serial e outra apontando para uma perspectiva com processamento distribuído em paralelo. Essas tradições nos estudos cognitivos são representadas pela Inteligência Artificial e pelo Conexionismo, respectivamente.

Analizamos também os eventos e pesquisas que proporcionaram o nascimento da Ciência Cognitiva. A nova ciência tem como base o pressuposto de que o estudo computacional e representacional da mente pode ajudar a desvendar a natureza da inteligência. Mas, para isso, era preciso incorporar à pesquisa cognitiva estudos de outras áreas da ciência que poderiam contribuir para o estudo de como são possíveis os estados mentais. Nasce assim a atual Ciência Cognitiva, com uma perspectiva multidisciplinar.

A Ciência Cognitiva resulta então da idéia de que é possível criar uma ciência multidisciplinar. Ela possui, entretanto, métodos e instrumentos próprios, sendo o computador seu instrumento central de análise, para estudar a natureza dos estados mentais. Nasce também com dois enfoques computacionais diferentes: modelo lógico-computacional e neurocomputacional. Ambos adotam alguns princípios do representacionalismo como base integrante da nova ciência. Além da concepção de que as representações mentais possibilitam a aquisição do conhecimento, adotam como premissa a tese funcionalista da mente.

Os modelos lógicos da Inteligência Artificial fortaleceram-se e encontraram seu maior impedimento nas limitações físicas dos computadores e na

aparente incapacidade de algoritmizar certos estados mentais. Assistimos nesses últimos anos ao nascimento de uma série de idéias que possibilitaram uma maior integração mundial. Entre elas, destacamos: o desenvolvimento de linguagens de alto nível, a criação de gerenciadores de banco de dados para registro e controle do armazenamento de informações, a elaboração de sistemas operacionais e outros produtos que proporcionaram aos pesquisadores de todas as áreas da Ciência um poderoso aliado no desenvolvimento de seus trabalhos.

Independente dos méritos da Inteligência Artificial e, em especial, da Ciência da Computação, não foi possível, até o momento, a elaboração de uma noção exata, não controversa, de como acontecem ou de como são possíveis os estados mentais dos seres humanos.

Por outro lado, inicialmente em oposição aos modelos lógicos da Inteligência Artificial tradicional, os modelos de redes neurais experimentaram um desenvolvimento mais lento. Alguns pesquisadores sugerem que isso ocorreu porque a possibilidade de comercialização das aplicações dos modelos lógicos resultou em maiores recursos para seu desenvolvimento. As redes neurais não foram desenvolvidas inicialmente para práticas comerciais. Atualmente isso está mudando, porque já ficaram comprovadas as limitações dos modelos lógicos. Por outro lado, já é comum vermos nos jornais atuais a utilização de redes neurais em áreas como telecomunicações, em aplicações bancárias, como reconhecimento de assinaturas, comparações de balanços, reconhecimento de padrões em linhas de produção e em outras aplicações.

O nosso interesse pelas redes neurais é o mesmo que propiciou a



sua origem na Cibernética: investigar a natureza dos estados mentais. Esses modelos envolvem alguns aspectos que os aproximam da arquitetura cerebral, com a consideração de aspectos físicos envolvidos nos mecanismos de aprendizagem. Conforme vimos, as primeiras inspirações desses modelos foram os trabalhos desenvolvidos com a finalidade de mensurar a intensidade da percepção. A percepção, e em especial a percepção visual, é estudada nos modelos conexionistas a partir dos elementos físicos que permitem ao cérebro humano identificar e classificar o mundo exterior.

Os primeiros modelos de redes neurais, como os Perceptrons, não envolviam a noção de aprendizagem. Essa noção só foi incorporada com o desenvolvimento desses modelos, que resultou na moderna corrente conexionista, que entende o processo de aprendizagem como resultado de mecanismos associativos. Neste contexto, os modelos conexionistas são constituídos por estruturas básicas que permitem a construção de novas estruturas informacionais. A percepção, nas redes neurais, é considerada básica para o processo de aprendizagem e fonte para relacionamento de idéias.

Nos modelos conexionistas são introduzidas, na simulação computacional, noções epistemológicas já estudadas por pesquisadores cognitivos. Entre elas, a importância das experiências, o processo de desenvolvimento de estruturas neurofisiológicas, a formação de conceitos dos objetos existentes (ou não), a capacidade de memória e a intencionalidade, entre outros.

Através da aprendizagem damos significado às coisas do mundo. À medida que aprendemos, estabelecemos uma relação entre realidade e estruturas



representacionais. A investigação dos estados mentais passa então à verificação de como são desenvolvidas as estruturas pré-conceituais. Dessas estruturas mais simples, que são os primeiros significados do mundo, construímos organizações mais complexas que nos permitem compreender e agir sobre o meio ambiente.

Ressaltamos também que além da capacidade representacional da mente, os pesquisadores cognitivos se preocupam também com seus aspectos computacionais. Estudos cognitivos envolvem, de uma forma geral, a investigação do processo de compreensão, transformação, armazenamento e uso da informação.

Considerando que o computador é o instrumento básico de pesquisa para a Ciência Cognitiva, revemos a concepção teórica de máquina, desenvolvida por Turing, por se tratar do trabalho que originou o desenvolvimento dos computadores. Comentamos o processo intuitivo de Turing, implícito na sua concepção de máquina, que poderia, em princípio, apresentar alguns comportamentos considerados inteligentes. Revimos a estrutura formal de máquina, através da definição de uma máquina de estado finito cujo comportamento depende da relação entre os estados internos da máquina e a fita de dados, com apenas uma operação executada sequencialmente a cada momento.

Apresentamos, em contraste, a concepção de uma máquina connexionista que pressupõe o processamento distribuído em paralelo da informação em redes neurais. A importância dos modelos de redes neurais artificiais nos estudos cognitivos deve-se principalmente à consideração de elementos físicos envolvidos nas representações mentais. Os processos representacionais simulados nas redes neurais evidenciam a capacidade destas de

identificar elementos do mundo exterior.

nos modelos de Vimos também que os mecanismos de aprendizagem introduzidos nos modelos de redes neurais são, de forma geral, derivados da hipótese de aprendizagem sugerida por Hebb. Conforme essa hipótese, a repetição de estímulos, incidindo nas unidades da rede altamente ativadas, fortalece as suas “conexões sinápticas”, assim como a ausência de estímulos pode enfraquecer essas conexões. A aprendizagem nos modelos conexionistas é então concebida através do processo de *associação* entre padrões na memória e padrões informacionais disponíveis no meio ambiente. O processo associativo permite à rede criar novas estruturas informacionais e fornecer uma resposta apropriada a eventos para os quais ela não foi treinada.

Ciência Cognitiva Os conexionistas consideram a importância dos aspectos ambientais na formação das representações mentais. Em alguns modelos, como o de Kohonen, por exemplo, já começa a ser incorporado um fator importante na nossa interação com o meio ambiente: a auto-organização.

Instrumental No mundo real, lidamos constantemente com um princípio de desordem que nos obriga, algumas vezes, a reconstruir o nosso conhecimento, recuperar e organizar as informações recebidas. Alguns modelos de redes neurais já incorporam esse princípio, conforme vimos no modelo prático apresentado na figura 11, que permite o reconhecimento de padrões mesmo quando eles se apresentam corrompidos por ruído.

O paradigma da auto-organização constitui uma nova perspectiva de estudo que vem, a passos pequenos mas importantes, desvendando

o mundo da complexidade, incluindo a natureza do conhecimento. Até o momento, nos modelos de redes neurais excluiu-se, por razões didáticas de simplificação, elementos culturais, sociais e outros que constituem obviamente o complexo conhecimento humano. O paradigma da complexidade e da auto-organização traz a promessa de introduzir, nesses modelos, tais elementos. É importante que a Ciência Cognitiva incorpore a complexidade do mundo real como um desafio e não como um fator que deva ser excluído. Julgamos que o processo de aprendizagem, por exemplo, nos modelos de redes neurais, deve incorporar considerações sobre a motivação, a expectativa e a vontade.

Com a incorporação da complexidade e da auto-organização, os modelos de redes neurais começam a despontar como a saída mais provável para a Ciência Cognitiva nos estudos do conhecimento humano. Neste nosso trabalho não entramos em detalhes sobre o conceito de auto-organização. O *background* adquirido no desenvolvimento desta dissertação talvez nos permita no futuro um estudo mais aprofundado deste conceito. Temos, atualmente, a maior parte do instrumental tecnológico e o vasto conhecimento das ciências contribuindo para que a Ciência Cognitiva possa prosseguir na conquista de seus objetivos.

BIBLIOGRAFIA

- ABRANTES, P. C. (org.). Naturalizando a Epistemologia. In: _____. *Epistemologia e cognição*. 1ª ed. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1993. p.171-218.
- ALENCAR, E. S. (org.) *Novas contribuições da psicologia de ensino e aprendizagem* - São Paulo: Cortez Editora, 1982.
- ATLAN, H. *Entre o cristal e a fumaça*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1992.
- BEALE, R., JACKSON, T. *Neural computing: an introduction*. Bristol: Institute of Physics Publishing, 1994.
- BENATON, J. *O que é cibernética*. São Paulo: Editora Brasiliense, 1986.
- BOWRA, C. M. et al. *Grécia Clássica*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora S.A., 1983.
- BRUNETTA, M. G. *Inteligência artificial: manipulação simbólica e intencionalidade em J. R. Searle*. Belo Horizonte, 1997. 128p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais.
- CAMPOS, D. M. S. *Psicologia da aprendizagem*. Petrópolis: Editora Vozes Limitada, 1971.
- CARVALHO, L. A. V. et al. Redes neurais artificiais: a volta do cérebro eletrônico? *Ciência Hoje*. vol. 12. p.12-21, 1991.
- CAUDILL, M. Neural networks Primer - part I. *AI Expert*, dezembro 1988. part II. *AI Expert*, fevereiro 1988.

CAUDILL, M., BUTLER, C. *Understanding Neural Networks: computer explorations*. Vols. 1 e 2. Cambridge (EUA): MIT Press, 1992.

CUTLAND, N. *Computability*. Cambridge: University Press, 1980.

DAVIS, M. *Computability and Unsolvability*. McGraw-Hill, 1958.

_____. *The undecidable*. New York: Raven Press, 1965.

DEBRUN, M., GONZALES, M. E. Q., PESSOA JR., O. (orgs.) *Auto-organização*. Estudos interdisciplinares em filosofia, ciências naturais e humanas, e artes. 1ª ed. Campinas: UNICAMP, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, 1966.

DESCARTES, R. *As Meditações. Os pensadores*. 3ª ed. São Paulo: Abril Cultural, [1641] 1983.

DREYFUS, H. L. *O que os computadores podem fazer: crítica da razão artificial*. Rio de Janeiro: A Casa do Livro Eldorado S.A., 1975.

DUPUY, J. P. *Nas origens das ciências cognitivas*. São Paulo: Editora Universidade Estadual Paulista, 1996.

DUTRA, L.V. *O dualismo mente-corpo: implicações para a prática da atividade física*. Rio Claro, 1996. 196p. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual Paulista.

EPSTEIN, I. (org.) *Cibernética e comunicação*. São Paulo: Cultrix/Edusp, 1973.

FERGUSON, C. E. *Micro-economia*. 8ª ed. Rio de Janeiro: Editora Forense-Universitária Ltda, 1972.



FRANK, H. G. *Cibernética e filosofia*. Rio de Janeiro: Edições Tempo Brasileiro Ltda., 1970.

FODOR, J. A., PYLYSHYN, Z. N. Connectionism and cognitive architecture: a critical analysis. *Cognition*. v. 28 Lausanne, 1988.

GARDNER, H. *A nova ciência da mente: uma história da revolução cognitiva*. São Paulo: EDUSP, 1995.

GHIRALDELLI JR., P. Subjetividade, infância e pedagogia. *Caderno da linha de Pesquisa Educação e Filosofia* - ano I, nº zero. Marília: Universidade Estadual Paulista, 1995.

_____. *Filosofia da Educação* (Notas de aulas). Marília: Universidade Estadual Paulista, 1996.

GONZALES, M. E. Q. *A cognitive approach to visual perception*. Essex, 1986. 182p. Tese (Doutorado em Filosofia) - University of Essex.

_____. Redes neurais e representação mental: um ensaio sobre harmonia e racionalidade. *Trans/formação*. v.14. São Paulo: Editora UNESP, p. 93-108, 1991.

_____. Um estudo cognitivo-informacional das representações mentais. In: ABRANTES, P. C. (org.) *Epistemologia e cognição*. 1ª ed. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1993. p.127-146.

_____. *Ciência cognitiva* (Notas de aulas). Marília: Universidade Estadual Paulista, 1995.

_____. Ação, causalidade e ruído nas redes neurais auto-organizadas. In: DEBRUN, M., GONZALES, M. E. Q., PESSOA JR., O. (orgs.) *Auto-*



organização. Estudos interdisciplinares em filosofia, ciências naturais e humanas, e artes. Campinas: UNICAMP - Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, Coleção CLE, 1996.

HARRÉ. R. *Problemas da revolução científica*: incentivos e obstáculos ao progresso das ciências. Belo Horizonte: Livraria Itatiaia Editora Ltda, 1976.

HOPCROFT, J. E., ULLMAN. J. D. *Formal languages and their relation to automata*. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1969.

HOPFIELD, J. J. Neurons with graded response have collective computational properties like those of two-state neurons. *Biophysics* nº 81, p.3088-3092. Proc.Natl.Acad.Sci., maio de 1984.

HUME, D. Investigação sobre o entendimento humano. *Os Pensadores*. 1ª ed. São Paulo: Abril SA. Cultural e Industrial, [1748] 1973.

HUSH, D. R., HORNE, B. G. *Progress in supervised neural networks*. What's New Science Limppmann? p.8-39. IEEE Acoustic, Speech and Signal Processing Magazine, janeiro 1993.

KHALFA, J. (org.) *A natureza da Inteligência*. 1ª ed. São Paulo: Fundação Editora da Universidade Estadual Paulista, 1996.

KAMII, C. *Novas perspectivas - implicações da teoria de Piaget*. Campinas: Papirus. 1993.

KISHINO, E. O. *O modelo entidade relacionamento e seu mapeamento para o modelo operacional*. Londrina: 1991. Monografia (Especialização em Ciência da Computação) - Universidade Estadual de Londrina.

KLENE S. C. *Introduction to metamathematics*. Van Nostrand, Princeton, 1952.



- KOHONEN, T. *Self-organization and associative memory*. 2ª ed. Berlim: Springer, 1984.
- LANDIM FILHO, R. F. O destino da revolução racionalista. *Caderno Mais!* São Paulo: Folha de São Paulo, 24 de março de 1996.
- LAPP R. E. et al. *A matéria*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1982.
- LIPPMANN, R. P. *An introduction to computing with neural nets*. ASSP Magazine, p.4-23. abril de 1987.
- LOCKE, J. Ensaio acerca do entendimento humano. *Os Pensadores*. 1ª ed. São Paulo: Abril S. A. Cultural e Industrial, [1690] 1980.
- MACEDO, L. O computador e a inteligência. *Caderno Mais!* Folha de São Paulo, 04 de agosto de 1996.
- MASSI, C. D. *Computabilidade* (Notas de aulas). Marília: Universidade Estadual Paulista, 1994.
- MCCARTHY, J. Informação. *Computadores e Computação*. São Paulo: Editora Perspectiva, p.19-29, 1977.
- MINSKY, M. L. *Computation: Finite and infinite machines*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall (EUA), 1967.
- _____. Inteligência Artificial. *Computadores e Computação*. São Paulo: Editora Perspectiva, p.151-160, 1976.
- MONTOYA, A. O. D. Sobre as raízes do pensamento e da linguagem: Vygotsky e Piaget. *Caderno de Pesquisa*, n. 92, p.26-37. fevereiro de 1995.



- MORAN, N. Redes neurais preveem comportamento. *Caderno de Informática - Folha de São Paulo*, 27 de julho de 1994.
- MORANDO, D. *Pedagogia*. Barcelona: Editorial Luis Miracle, 1961.
- MOREIRA, M. A., MASINI, E. F. S. *Aprendizagem significativa*. A teoria de David Ausubel, São Paulo: Editora Moraes Ltda, 1982.
- MORIN, E. *Ciência com consciência*. 1ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.
- MUELLER, C. G. et al. *Luz e visão*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1982.
- OLIVEIRA, M. B. Rumo a uma teoria dialética dos conceitos. In: ABRANTES, P. C. (org.) *Epistemologia e cognição*. 1ª ed. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1993. p.25-69.
- PAPERT, S. - *A máquina das crianças: repensando a escola na era da informática*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.
- PAZ, O. *A dupla chama*. São Paulo: Siciliano, 1994.
- PESSIS-PASTERNAK, G. *Do caos à inteligência artificial: quando os cientistas se interrogam*. São Paulo: Editora da Universidade Paulista, 1993.
- PETERSON, D. *Mudança de quadros em um planeta interconectado*. 1ª ed. Segundo Encontro Brasileiro-Internacional de Ciência Cognitiva, Universidade Estadual Norte Fluminense, Campos de Goytacazes, RJ, Brasil, 1996a.
- _____. *Forms of representation*. 1ª ed. Wiltshire (Great Britain): Cromwell Press, 1996b.



PIAGET, J. *O Julgamento moral na criança*. São Paulo: Ed. Mestre Jou, 1932.

POST, E. L. *A variant of a recursively unsolvable problem*. Bul.Amer.Math Soc. 1946.

PUTNAM, H. *Renewing philosophy*. Harvard University Press, 1992.

RORTY, E. *In defense of eliminative materialism*. Review of Metaphysics. vol. XXIV. Reimpresso em ROSENTHAL, D.M. 1971 *Materialism and the Mind-Body Problem*. Engluwood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1970.

RUMELHART, D. E., MCCLELLAND, J. L. e the PDP Research Group. *Parallel distributed processing: Explorations in the microestruture of cognition*, Cambridge (EUA): MIT Press, 1986.

RYLE, G. *The concept of mind*. Harmondsworth: Penguin Books. 1963.

SANTOS, T. .M. *Manual de Filosofia - Curso de filosofia e ciências*. 14ª ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1966.

SEARLE, J. R. Minds, brains, and programs. *The behavioral and brain sciences*. Cambridge: University Press, 1980.

_____. *Mente, cérebro e ciência*. Biblioteca de Filosofia Contemporânea. Lisboa: Edições 70, 1984.

_____. *A redescoberta da mente*. 1ª ed. São Paulo: Livraria Martins Fontes Editora Ltda, 1997.

SETTI, R. B. Gênio cibernético. *Super Interessante*, junho 1997.



SETZER, V. W. *Banco de dados*. Conceitos, modelos, gerenciadores, projeto lógico e projeto físico. São Paulo: Editora Blücher Ltda, 1986.

SIMONS, G. L. *Introdução à inteligência artificial*. Lisboa: Clássica Editora, 1986.

SMOLENSKY, P. Information processing in dynamical systems foundations of harmony theory. In: RUMELHART, D., MCCLELLAND, J. (orgs.). *Parallel distributed processing: explorations in the microstructure of cognition*. vol. 1 p.417-24. Foundations. Cambridge (EUA): MIT Press, 1986.

SOARES, A. *O que são ciências cognitivas*. 1ª ed. São Paulo: Editora Brasiliense, 1993.

STEVENS, S. S. et al. *Som e audição*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1982.

TAILLE, Y. Piaget, Vygotsky, Wallon. *Teorias psicogenéticas em discussões*. Summus Editora Ltda., 1992.

_____. Seis Pontos do pensamento piagetiano. *Caderno Mais!*. São Paulo: Folha de São Paulo, 04 de agosto de 1996.

TEIXEIRA, J. F. Robots, intencionalidade e inteligência artificial. *Trans/formação: Revista de Filosofia*. v.14, p.109-121, São Paulo 1991.

_____. Naturalismo e representação mental. In: ABRANTES, P. C. (org.) *Epistemologia e cognição*. 1ª ed. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1993. p.71-112.

TURING, A. M. On computable numbers, with an application to the entscheidungsproblem. *Proceedings of the london mathematical society*, vol. 42 p. 230-235 ,1936.

_____. Computadores e inteligência. In: EPSTEIN, I. (org.) *Cibernética e Comunicação*. São Paulo: Cultrix/Edusp, p.45-82, 1973.

VELOSO, Paulo A. S. *Máquinas e linguagens*: uma introdução a teoria dos autômatos. São Paulo: USP, p.53-73, 1979.

VIANA, F. L. *Estudo do modelo de Kohonen de redes neurais*. São José do Rio Preto, 1994. Relatório de Iniciação Científica - Universidade Estadual Paulista.

VYGOTSKY, L.S. *A formação social da mente*. São Paulo: Livraria Martins Fontes Editora Ltda., 1988.



ABSTRACT

The subject treated in this dissertation is about the utility of models of Artificial Neural Networks in the study of mental functions involved in learning and pattern recognition. Initially, the origins of computational models elaborated by Cognitive Science researchers and the basic presuppositions of this new science are investigated. By the evidence that the first systematic studies on knowledge were accomplished by the greeks, it stands out the greek philosophy, considered as generating of the most remote roots of Cognitive Science. For the influence at the present time of the destiny of this new science, the rationalist and empirist currents stand out, as well as elements of the behaviorist movement. Finally some mechanics hypotheses of the modern precursors of Cognitive Science are presented, whose studies made possible the development of Cybernetics and of computers. As the main representatives of the creation and technological development of computers, the works of Allan Turing, Claude Shannon, Nobeert Wiener, John von Neumann, Warren McCulloch and Walter Pitts are presented. From these works, appeared also the first notions that it would be possible to test theories on human knowledge through mechanical models. In parallel to the development of the computers, it's identified the basic presuppositions of Cognitive Science and its main lines of research. The abstract levels of cognitive computational models that adopt the functionalist thesis of the mind and that defend the existence of mental representations are also discussed.

With the identification of the basic principles of Cognitive Science, some mechanisms involved in visual perception and in the processes of learning of concepts are investigated. The difficulty of simulating mental processes in machines with sequential processing brings the need to analyze the differences between the Turing machine and *neural network* models. Then the intuitive base and the formal definition of the Turing machine with serial processing are presented. To proceed, a model of Artificial Neural Network with distributed and parallel processing is shown and a learning mechanism is investigated in the model of Hopfield. After analyses and conceptual thinking of a model, a practical example is developed with the construction of a model of artificial *neural network* with the purpose of illustrating techniques used in the investigation of concerning hypotheses concerning learning process. Some of the main critics to the program of Cognitive Science are also presented. However, in the final notes, the relevance and the importance of the models of Artificial Neural Networks in the investigation of the learning mechanisms are emphasized.



