

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC  
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E DE ESTATÍSTICA - INE  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO - CPGCC

**APRENDER, ATIVIDADE INTELIGENTE: E SE  
ESTA INTELIGÊNCIA FOR PARCIALMENTE  
ARTIFICIAL ?**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
SANTA CATARINA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE  
MESTRE EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

MARIA APARECIDA FERNANDES ALMEIDA

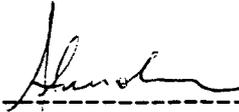
FLORIANÓPOLIS, 21 DE SETEMBRO DE 1999

*“Quando entrar Setembro  
E a boa nova andar nos campos  
Quero ver brotar o perdão  
Onde a gente plantou  
Juntos outra vez  
Já sonhamos juntos  
Semeando as canções no vento  
Quero ver crescer nossa voz  
No que falta sonhar  
Já choramos muito  
Muitos se perderam no caminho  
Mesmo assim não custa inventar  
Uma nova canção que venha nos trazer  
Sol de Primavera  
Abre as janelas do meu peito  
A lição sabemos de cor  
Só nos resta aprender ”*

*Sol de Primavera - Guedes & Bastos*

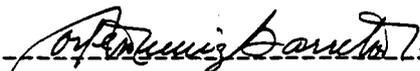
*À Adriana, Fred, João Vitor, Solange, Cláudia e Barreto.*

**APRENDER, ATIVIDADE INTELIGENTE: E SE ESTA  
INTELIGÊNCIA FOR PARCIALMENTE ARTIFICIAL ?**



-----  
**MARIA APARECIDA FERNANDES ALMEIDA**

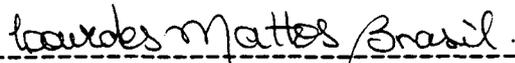
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE  
**MESTRE EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM  
**SISTEMAS DE CONHECIMENTO,**  
E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO CURSO DE  
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO - CPGCC-INE-UFSC.



-----  
**Prof. JORGE MUNIZ BARRETO, D.Sc.A.**

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação  
Universidade Federal de Santa Catarina

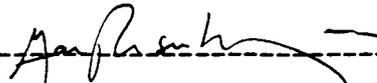
**BANCA EXAMINADORA:**



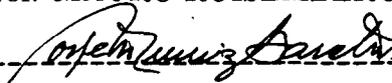
-----  
**Prof<sup>ª</sup>. LOURDES MATTOS BRASIL, Dra., PGEEL-GPEB, UFSC**



-----  
**Prof<sup>ª</sup>. CLARA AMÉLIA DE OLIVEIRA, M.Sc., INE-UFSC**



-----  
**Prof. MAURO ROISEMBERG, Dr., INE-UFSC**



-----  
**Prof. JORGE MUNIZ BARRETO, D.Sc.A., orientador**

Florianópolis, 21 de Setembro de 1999.

# Agradecimentos

Ao Prof. Jorge Muniz Barreto, pelo apoio, orientação, incentivo, amizade e por tudo que tem me ensinado na Vida. À Solange e a Cláudia, pelo carinho, acolhimento, entre tantas outras coisas felizes ...

Aos membros da banca examinadora Prof<sup>ra</sup>. Clara Amélia de Oliveira, Prof<sup>ra</sup>. Lourdes Mattos Brasil, Prof. Mauro Roisemberg e Prof. Jorge Muniz Barreto pela avaliação e valiosa colaboração.

À Verinha, Valdete do CPGCC e Maria Cecília do Centro de Documentação do INE por todo auxílio prestado.

Ao pessoal da UNIVALE (em especial ao Max, Ozimar e Prof. Humberto) pelo empenho e incentivo na aplicação deste trabalho.

Aos colegas e professores do INE pelo apoio. Aos amigos e amigas de sempre (Bárbara, Fernanda, Gisele, Analucia, Carminha, Humberto, João Dias, Káthya, Lurdinha, Nivaldo, Roberta, Wilson, Helena, Cláudio, Juninho, César, Roberto, Daniela ... ) pela grande amizade e carinho.

Aos companheiros e professores do ICMG. Em especial, a Cândida, Magalhães, Evandro, Figueiredo, Mara, Pacheco, Prof. Orlando, Prof. Oton, Sr. Paulo, Sr. Mundim, Brasil, Berenice, Machado, Inácio, Marcelo, Ivone, Selma, Max, Lúcio, Niura, Manuel, Graça, Ana Marta, Delfina, Polycena, Mauro, Simone, Estela, Luciana. Agradecimentos extensivos a Márcia e Fátima (DEG-ICMG) e a Zélia e Heloísa (DPG-ICMG) pela atenção.

À Luciene Cardoso, amiga e também parceira de trabalhos na área, pela motivação pessoal e contribuição profissional.

Aos meus queridos amigos Max Mauro, Meire e filhos, por continuarmos compartilhando TUDO ... dedicação, afeto, carinho, amizade, emoções alegres e tristes ... nestes últimos anos.

À minha família, Adriana, Fred, Paulinho e família, Wilson e família, aos Fernandes Almeida...

À UFSC, INE, CPGCC e ICMG pelo suporte e a todos aqueles que colaboraram anonimamente na realização deste trabalho.

À DEUS.

# Sumário

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Sumário</b>   | <b>i</b>    |
| <b>Lista de Figuras</b>  | <b>iii</b>  |
| <b>Lista de Tabelas</b>  | <b>iv</b>   |
| <b>Lista de Abreviaturas</b>                                     | <b>v</b>    |
| <b>Resumo</b>  | <b>vii</b>  |
| <b>Abstract</b>  | <b>viii</b> |
| <b>Publicações da autora relativas a este trabalho</b>           | <b>ix</b>   |
| <b>1 Introdução</b>  | <b>1</b>    |
| 1.1 Motivação . . . . .  | 1           |
| 1.2 Objetivos . . . . .  | 4           |
| 1.2.1 Objetivo Geral . . . . .                                   | 4           |
| 1.2.2 Objetivos Específicos . . . . .                            | 4           |
| 1.3 Estrutura do trabalho . . . . .                              | 4           |
| <b>2 Ensino, Computador e Sociedade</b>                          | <b>6</b>    |
| <b>3 Ensino e IA</b>   | <b>14</b>   |
| 3.1 Origens da IA . . . . .                                      | 15          |
| 3.2 Como é difícil definir IA ... . . . .                        | 21          |
| 3.3 Alguns programas de Ensino utilizando IA . . . . .           | 24          |
| 3.4 Paradigmas formais de sistemas de Ensino com IA . . . . .    | 26          |
| 3.5 IA Construtivista . . . . .                                  | 30          |
| 3.6 Os Sistemas Especialistas no Ensino com computador . . . . . | 33          |
| 3.7 Abordagem Conexcionista . . . . .                            | 35          |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.7.1    | Redes Neurais e Aprendizado de Máquina . . . . .                      | 35        |
| 3.7.2    | Características das RNA . . . . .                                     | 36        |
| 3.7.3    | O neurônio artificial . . . . .                                       | 37        |
| 3.8      | Aprendizado das redes neurais . . . . .                               | 39        |
| 3.8.1    | Aprendizado Supervisionado . . . . .                                  | 40        |
| 3.8.2    | Aprendizado Não Supervisionado . . . . .                              | 41        |
| <b>4</b> | <b>Ensino x WWW: considerações no projeto</b>                         | <b>43</b> |
| 4.1      | A Internet . . . . .  | 43        |
| 4.2      | Ambientes de Ensino-aprendizagem . . . . .                            | 45        |
| 4.3      | Ambiente Exploratório Construtivista . . . . .                        | 46        |
| 4.4      | Ferramentas, tarefas e diálogo . . . . .                              | 47        |
| 4.5      | Ambientes Distribuídos . . . . .                                      | 51        |
| 4.5.1    | Simulações e o mundo eletrônico virtual . . . . .                     | 54        |
| 4.5.2    | Simulação e IA . . . . .  | 55        |
| 4.6      | Considerações sobre a Interface . . . . .                             | 56        |
| 4.6.1    | Módulos textuais . . . . .  | 56        |
| 4.6.2    | Uso de gráficos . . . . .   | 56        |
| 4.6.3    | Ajuda ao usuário . . . . .  | 57        |
| 4.7      | Considerações sobre a Linguagem de implementação . . . . .            | 57        |
| <b>5</b> | <b>Hipermídia: Modelo Teórico</b>                                     | <b>59</b> |
| 5.1      | Definição teórica de Hipertexto . . . . .                             | 59        |
| 5.2      | Conceitos básicos da Teoria de Autômata . . . . .                     | 60        |
| 5.3      | Hipertexto como autômata . . . . .                                    | 64        |
| <b>6</b> | <b>Ensino de RNA: implementações</b>                                  | <b>68</b> |
| 6.1      | Hipertexto x Ensino de RNA: uma primeira experiência . . . . .        | 68        |
| 6.2      | Hipermídia x Ensino de RNA: usando redes de computadores . . . . .    | 70        |
| 6.3      | Grafo da implementação e estratégias pedagógicas utilizadas . . . . . | 72        |
| <b>7</b> | <b>Conclusões</b>   | <b>80</b> |
|          | <b>Glossário</b>  | <b>84</b> |
|          | <b>Apêndice</b>   | <b>86</b> |
|          | <b>Índice Remissivo</b>   | <b>89</b> |
|          | <b>Referências Bibliográficas</b>                                     | <b>92</b> |

# Lista de Figuras

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.1 | Agentes de Ensino na Sociedade [17]                               | 8  |
| 3.1 | Charles Babbage   | 17 |
| 3.2 | Ada Byron - Lady Lovelace   | 17 |
| 3.3 | Korand Zuse & Helmut Schreyer - primeiro computador programável   | 18 |
| 3.4 | Alan Turing - propôs o Teste de Turing                            | 19 |
| 3.5 | Esquema simplificado de um neurônio biológico                     | 35 |
| 3.6 | Modelo de Neurônio Artificial conforme Kasabov [67]               | 39 |
| 3.7 | Esquema de uma Rede Neural Típica                                 | 39 |
| 3.8 | Exemplo de Rede de Kohonen  | 42 |
| 4.1 | Evolução da comunicação - modificada de Vavassori [122]           | 51 |
| 5.1 | Grafo representando o autômata $M$                                | 63 |
| 5.2 | Mudança de saída e inalteração de estado no hipertexto $H_p$      | 66 |
| 5.3 | Representação de um hipertexto $H$                                | 67 |
| 6.1 | Tela de abertura do programa                                      | 69 |
| 6.2 | Exemplo de página do livro  | 70 |
| 6.3 | Exemplo de simulação na Web: Mapa de Kohonen segundo Frölich [51] | 78 |
| 6.4 | Grafo do protótipo implementado                                   | 79 |

# Lista de Tabelas

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 3.1 | Definições de IA segundo Russel [106] . . . . .           | 23 |
| 3.2 | Alguns ITS históricos - adaptado de Kaplan [66] . . . . . | 25 |
| 5.1 | Transição de estados do autômata $M$ . . . . .            | 63 |

# Lista de Abreviaturas

1. CAI - Computer-Aided Instruction.
2. CAL - Computer-Aided Learning.
3. CPGCC - Curso de Pós-graduação em Ciência da Computação.
4. CSCL - Computer Supported Cooperative Learning.
5. FCC - Ferramentas de Configuração do Curso (FCC).
6. FAA - Ferramentas de Apoio ao Aluno.
7. FSA - Ferramentas de Suporte a Administração.
8. GPS - General Problem Solver.
9. GUI - Graphical User Interface.
10. HTML - Hypertext Markup Language.
11. IEEE - The Institute of Electrical and Electronics Engineers.
12. IA - Inteligência Artificial.
13. IAC - Inteligência Artificial Conexionista.
14. IAS - Inteligência Artificial Simbólica.
15. ICAI - Intelligent Computer-Aided Instruction.
16. ICAL - Intelligent Computer-Aided Learning.
17. INE - Departamento de Informática e de Estatística.
18. ITS - Intelligent Tutor System.
19. IV - Imersão Virtual.
20. LVIA - Laboratório Virtual para Ensino de Inteligência Artificial.

21. LISP - List Processing.
22. MIT - Massachussets Institute of Tecnology.
23. PGEEL - Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica.
24. RBIE - Revista Brasileira de Informática na Educação.
25. RNA - Redes Neurais Artificiais.
26. RV - Realidade Virtual.
27. SE - Sistemas Especialistas.
28. SP - Sistemas de Produção.
29. SGML - Standard Graphics Markup Language.
30. SBC - Sociedade Brasileira de Computação.
31. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina.
32. UNIVALE - Universidade do Vale do Rio Doce.
33. VRML - Virtual Reality Markup Language.
34. WWW - World Wide Web.

## Resumo

O objetivo deste trabalho é analisar as perspectivas da Inteligência Artificial (IA) no processo de Ensino-Aprendizagem com o Computador. São observados alguns impactos da aplicação do Computador no processo de Ensino perante a Sociedade contemporânea. Foram feitas considerações sobre a concepção de ambientes de Ensino-Aprendizagem via redes de computadores para apoio ao Ensino de IA em Cursos de Graduação e Pós-graduação em Ciência da Computação e áreas afins; presenciais ou não. A temática escolhida é o Ensino de Redes Neurais Artificiais. É apresentado um protótipo, seguindo o Construtivismo, baseado no modelo teórico de Hipermedia como Autômata. O “Ensino de IA e a IA no Ensino” mostrou ser uma abordagem interessante para o estudo dos processos cognitivos na Ciência da Computação e suas aplicações.

Palavras-chave: Inteligência Artificial, Construtivismo, Ensino-Aprendizagem, Hipermedia, Autômata;

TO LEARN, INTELLIGENT ACTIVITY: AND IF THIS  
INTELLIGENCE GOES PARTIALLY ARTIFICIAL?

## Abstract

The objective of this work is to analyze the perspectives of the Artificial Intelligence (AI) in the teaching/learning process with Computer. Some impacts of the Computer application are observed in the process of learning in the contemporary Society. It was accomplished some considerations about the conception of Web-based learning environments for AI's Courses in the Computer Science and kindred areas; witness or not. The thematic chosen was teach the Neural Network concepts. It is presented a prototype which is inspired in the Construtivism Theory. This one is also based on the hypermedia theoretical model as an Automata. This approach is very interesting for cognitive processes study in the Computer Science and its applications.

Keywords: Artificial Intelligence, Construtivism, Teaching/Learning, hypermedia, Automata.

## Publicações da autora relativas a este trabalho

1. ALMEIDA, M. A. F.; BARRETO, J. M. & LIMA, W. C. “Ensino de Filtragem Digital de Sinais Biomedicos via Rede de Computadores”, In: *Anais do Primer Congreso Peruano de Ingeniería Biomédica*, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, p.45-47, Setiembre,1999.
2. ALMEIDA, M. A. F. ; BARRETO, S. Q. ; CORRÊA, M. C. O. B & SOUZA, L. L. “Aprendizado Cooperativo utilizando Construtivismo e Redes de Computadores no Ensino a Distância” In: *Anais da 51ª Reunião Anual da SBPC*, Porto Alegre, julho de 1999.
3. ALMEIDA, M. A. F. ; BARRETO, J. M. & SANTOS, M. M. D. , “Um ambiente Computacional para Ensino de Redes Neurais Artificiais”, In: *Anais da 51ª Reunião Anual da SBPC*, Porto Alegre, julho de 1999.
4. ALMEIDA, M. A. F. & BARRETO, J. M. , “Apoio ao ensino de Redes Neurais Artificiais via computador”, In: *Anais do XXII Congreso Argentino de Bioingeniería - SABI99*, Universidade de Favaloro, Argentina, junho de 1999, (CD-ROM(101/3)-(10998-ARGENDISK)).
5. ALMEIDA, M. A. F. & BARRETO, J. M. , “Ambiente para ensino do projeto de Filtros Digitais no domínio do tempo: aplicação a sinais de eletrocardiografia”, In: *Anais do IV FNCTS - Fórum Nacional Ciência e Tecnologia em Saúde*, Curitiba, outubro de 1998, p. 407-408.
6. GIL, S. Q. ; SOUZA, L. L. FIALHO, F. P. & ALMEIDA, M. A. F. , “A vida pede licença para entrar na Escola”, In: *Anais da 49ª Reunião Anual da SBPC*, Belo Horizonte, julho de 1997, p.412.
7. CARDOSO, L. N. ; ALMEIDA, M. A. F. & STEIN, M. G. F. “Tutorial hipertexto sobre o manuseio do livro didático”, In: *Anais da 5ª Reunião Especial da SBPC, Blumenau*, setembro de 1997, p.207.

# Capítulo 1

## Introdução

*“The potential of computer science, if fully explored  
and developed, will take us to a higher plane  
of knowledge about the world.*

*Computer science will assist us in gaining a greater  
understanding of intellectual processes.*

*It will enhance our knowledge of the learning process,  
the thinking process, and the reasoning process.*

*Computer science will provide models and conceptual tools  
for the cognitives sciences.*

*Just as the physical sciences have dominated humanity’s intellectual  
endeavors during this century as researchers explored  
the nature of matter and beginning of the universe,  
today we are beginning the exploration of the intellectual  
universe of ideas, knowledge structures, and language.*

*I foresee significant advances continuing to be made that  
will greatly alter our lives...”*

*J. HOPCROFT, ACM Turing Award Lecture, 1987*

### 1.1 Motivação

Desde os anos 40, com o advento dos computadores, existe um grande interesse na utilização destas máquinas no Ensino. Geralmente sua utilização, nesta área, engloba práticas e exercícios, tutoriais, ferramentas de auxílio ao Ensino e simulações.

No início dos anos 60, o uso do computador expandiu-se com a primeira geração de programas, denominados de *Instrução Programada* ou (“CAL - Computer-Aided

Learning”), que compunham uma aula com unidades instrucionais com as seguintes características:

- continham pequenas porções de currículo que eram sucessivamente apresentadas na tela e questionadas;
- suas seqüências exatas eram determinadas por uma árvore de decisões baseadas em um conjunto pré-definido de respostas esperadas do aluno.

Segundo Ramirez [99] nos primeiros desenvolvimentos dos programas educacionais, o instrutor tinha que programar todos os detalhes da interação. O objetivo era construir programas incorporando lições que eram otimizadas para cada estudante. Esses programas eram denominados “eletronic page turners” ou monitores de práticas de exercícios.

A segunda geração dos programas educacionais é o que se conhece por sistemas de *Instrução auxiliada por computador* ou (“CAI - Computer-Aided Instruction”), que Carbonell [27] definiu como tendo os seguintes requisitos:

- deve ser um tutor-computador que tenha o poder indutivo da contrapartida humana, isto é, responder adequadamente as perguntas do aprendiz;
- o aprendiz deve estar ativamente comprometido com o sistema educacional e seus interesses e problemas devem guiar o diálogo do tutorial.

A terceira geração de programas educacionais envolvem Inteligência Artificial (IA) e têm sido conduzidos sobre o nome de *Instrução inteligente auxiliada por computador* (ou “ICAI - Intelligent Computer-Aided Instruction”). Estes sistemas possuem um módulo especialista em sua estrutura. Outro termo utilizado, denomina-os de *Sistemas Tutoriais Inteligentes* ou (“ITS - Intelligent Tutor System”), que utilizam técnicas de IA mas não necessariamente possuem um módulo especialista. Existe também a denominação de *Aprendizado Inteligente auxiliado por computador* ou (“ICAL - Intelligent Computer-Aided Learning”) no qual estão inseridos os sistemas hipertexto, onde o aprendizado se dá através de textos e gráficos, e cabe ao aprendiz selecionar a seqüência dos tópicos.

Na segunda metade dos anos 80, muitas pesquisas sobre aprendizagem auxiliada por computador voltaram-se para a utilização de ambientes hipermídias para fazer a interação com o aluno, isto é, combinando o hipertexto com as diversas formas de mídia (sons, imagens, animações gráficas, vídeos, etc.) [20] [71].

Para Ulbricht [119], [120], [118] num sistema hipermídia “ler” e “escrever” passaram a ser operações novas que modificaram profundamente a maneira de pensar, pois desenvolveram nos alunos condutas heurísticas, flexíveis e inovadoras.

Atualmente, pode-se definir uma quarta geração de programas educacionais com realizações de aprendizado via rede de computadores usando implementações de Realidade Virtual (RV), Imersão Virtual (IV), que podem utilizar a VRML [82]. Um exemplo disto foi a edição especial da Revista *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol.19, n.2, March/April 1999, inteiramente dedicada a VRML na construção de mundos virtuais.

Neste campo, muitos trabalhos têm sido feitos discutindo-se não só as possibilidades tecnológicas mas as necessidades pedagógicas com a utilização de Telecomunicações, Engenharia de Programas,<sup>1</sup> Multimídia e IA. Um trabalho interessante sobre a automatização do processo de programação sobrepondo IA e Engenharia de Programas pode ser encontrado no trabalho de Waters [125].

No Brasil, a Sociedade Brasileira de Computação (SBC) publica a Revista Brasileira de Informática na Educação (RBIE)<sup>2</sup>, considerando esta área como relevante. Vários trabalhos nesta área estão sendo desenvolvidos no Brasil ao longo dos anos, como mostra Fernandes [41] [42]. O contato da autora do presente trabalho com pessoas da área de Informática na Educação, no local onde é publicado tal revista, assim como as experiências anteriores, como estudante e como professora universitária, interessada nas novas tecnologias de Ensino, serviram como uma forte motivação para o desenvolvimento deste trabalho. Tal interesse no uso e produção de programas educacionais iniciou-se em 1995 durante o Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica, onde a autora desenvolveu, como parte integrante de sua Dissertação, um ambiente computacional para o Ensino de Projeto de Filtros Digitais no domínio do tempo [2], [3], [4], [5], [6], [7] e [9]. Posteriormente, outros trabalhos foram desenvolvidos juntamente com pessoas da área da Educação [8], [10], [11], [12], [28] e [54]. A partir de 1998, a autora direcionou suas pesquisas para a Computação Aplicada ao Ensino utilizando IA. Assim, a mesma considera interessante, como ponto de partida, a análise da utilização da IA no Ensino auxiliado por computador, o desenvolvimento de um Ambiente de Ensino-aprendizagem com a modelagem pertinente à IA e o Ensino utilizando-se redes de computadores. Aliando estes modernos e poderosos instrumentos da Ciência da Computação a principal motivação é refletir sobre a pergunta: *Aprender, atividade inteligente: e se esta inteligência for parcialmente artificial?*

---

<sup>1</sup>A edição especial da Revista *IEEE-Software*, vol. 14, n. 6, December, 1997 é totalmente dedicada ao Ensino e Treinamento em Engenharia de Programas.

<sup>2</sup>URL: <http://www.inf.ufsc.br/sbc-ie/revista/>

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é apontar as perspectivas da IA no Ensino com Computador.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Para atender o objetivo geral, mencionado anteriormente, são definidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar os impactos do Computador no processo de Ensino perante a Sociedade;
- Observar a utilização da IA no Ensino com computador;
- Efetuar considerações sobre a concepção de ambientes de Ensino-aprendizagem via rede de computadores;
- Apresentar um modelo teórico de hipermídia baseado na Teoria de Autômatas;
- Desenvolver um protótipo hipermídia de ambiente de Ensino-aprendizagem de Redes Neurais Artificiais (RNA), seguindo a filosofia Construtivista, para apoiar o Ensino de IA via rede de computadores em Cursos de Graduação e Pós-Graduação em Ciência da Computação e áreas afins, presenciais ou não.

## 1.3 Estrutura do trabalho

Para atender os objetivos propostos, este trabalho está estruturado conforme discriminado a seguir.

O Capítulo 1 apresenta as motivações e a justificativa para o desenvolvimento, os objetivos e a estrutura do trabalho.

No Capítulo 2 é apresentado o impacto do Computador no processo de Ensino perante a Sociedade. O objetivo é fazer uma análise sobre o que se diz “interação-computador-qualidade de vida” e suas amplas possibilidades para a melhoria do nosso ensino.

O Capítulo 3 apresenta as perspectivas da IA no Ensino. São mostrados a visão geral sobre IA, seus paradigmas usuais no Ensino e suas principais abordagens.

No Capítulo 4 são feitas considerações sobre a implementação de ambientes de Ensino-aprendizagem via rede de computadores. Esta parte do trabalho pretende

analisar os requisitos iniciais para o desenvolvimento de um ambiente integrado para Ensino de IA.

O Capítulo 5 apresenta um modelo matemático teórico de hipertexto, baseado na Teoria de Autômatas, e sua extensão para um sistema hipermídia para Ensino via rede de computadores.

O Capítulo 6 mostra a implementação de um sistema hipermídia como Autômata para o Ensino utilizando rede de computadores (Internet). São mostrados o grafo de implementação e as principais estratégias pedagógicas adotadas na concepção. A temática escolhida é o Ensino de RNA.

No Capítulo 7 são apresentadas as considerações finais deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros, dentre as quais o desenvolvimento de um Laboratório Virtual para Ensino de IA (LVIA).

## Capítulo 2

# Ensino, Computador e Sociedade

*“See simplicity in the complicated.”*

LAO TZU

Este capítulo procura fazer uma análise do impacto do computador na Sociedade. Uma Sociedade aqui é entendida como uma determinada coletividade de pessoas interagindo de modo complexo e tendo funções distintas, podendo haver mais de um indivíduo com a mesma função.

O ser humano é um dos poucos animais que desenvolveu, de modo sensível, a capacidade de transmitir informação de uma geração a outra de modo não hereditário. Inicialmente, foi a língua falada, depois a escrita. Esta capacidade, denominada Ensino, evoluiu, foi progressivamente estruturada de modo a tornar cada vez mais eficiente a transmissão da informação. Talvez tenha sido esta capacidade que lhe permitiu desenvolver “ferramentas”, cada vez mais sofisticadas, algumas para ampliar suas capacidades físicas: faca, motor, avião, etc.; outras para ampliar suas capacidades intelectuais: ábacos, régua de cálculo, etc.

O computador é talvez a mais aperfeiçoada ferramenta que o ser humano já construiu para contribuir na ampliação de suas capacidades intelectuais e cuja vocação é o armazenamento e manipulação de informação. Não é de estranhar portanto, que desde os primeiros dias dos computadores, tenha aparecido um grande interesse no uso dessas máquinas no Ensino.

Nos primeiros tempos muitos acreditavam em uma revolução total do processo de Ensino.

- Houve, estará havendo, haverá tal revolução ?
- Haverá assuntos mais adaptados ao Ensino usando computadores?

- De que modo melhor usar o computador?

Outro ponto a considerar é que a rápida evolução dos conhecimentos humanos faz com que, diferentemente de épocas passadas, torna-se cada vez mais importante ensinar nas Escolas o conceito de “aprender a aprender”. Este século tem presenciado a uma modificação profunda de toda a preparação para a vida ativa: aumento do número de anos de escolaridade, criação de novas profissões e desaparecimento de outras levando a um sem número de problemas sociais. Chega-se ao ponto que, em algumas profissões (dentre as quais a Informática), a velocidade de novas descobertas é tal que um profissional que não se atualize diariamente, estará desatualizado logo depois de obter seu diploma.

O mercado de trabalho atual está constantemente exigindo que seus profissionais não possuam somente a habilidade de memorizar fatos, mas também que tenham habilidade para aprender novos métodos e novas aptidões.

Deste estado de coisas pode-se concluir os seguintes pontos:

- Na Escola, para lutar contra a obsolescência, na impossibilidade de aprender o que ainda não foi inventado, os alunos devem, prioritariamente, “aprender a aprender”;
- Durante toda a vida deve-se ser apto a seguir uma formação contínua, capaz de fazer mudar mesmo de especialidade várias vezes ao longo da vida, se for preciso.

E aí o computador tem seu lugar: ajudando a desenvolver a capacidade de aprender e personalizando a transmissão de conhecimentos no processo de aprendizagem contínuo. E isto deve ser feito considerando que os atores do processo de Ensino existem em um determinado momento, em uma determinada Sociedade como ilustrado na Figura 2.1.

A instituição de Ensino tem por responsabilidade estar continuamente atento às mudanças na Sociedade, de modo a responder às suas necessidades. Ou seja, no processo de Ensino é necessário observar o que a Sociedade precisa. É necessário fazer com que os alunos tenham condições de aprender rápido em face às mudanças tecnológicas. Por outro lado, os membros de um estabelecimento de Ensino são também membros desta Sociedade, devendo portanto ter um lugar que seja compatível com sua responsabilidade em formar novas gerações ou aperfeiçoar esta geração.

Com efeito, segundo Goodwing [56] as pessoas são motivadas ao uso do computador por várias razões. A primeira é que há casos em que é este o único meio de executar uma tarefa. Tal é o caso de serviços bancários, reservas de passagens, etc., mas certamente não é o caso do Ensino. Outra razão, é que o computador

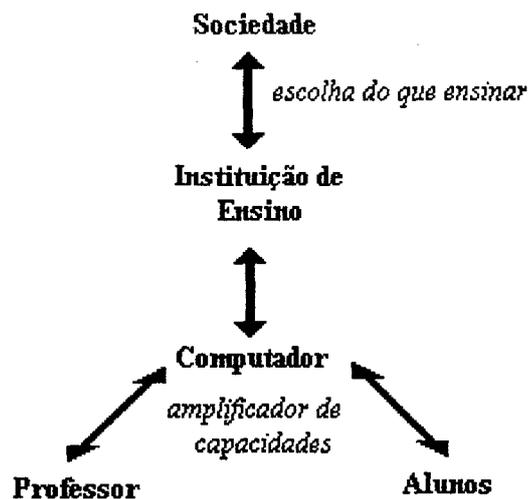


Figura 2.1: Agentes de Ensino na Sociedade [17]

pode permitir o aperfeiçoamento na realização de uma determinada tarefa. Este é o motivo que acredita-se ser válido no caso do Ensino, tanto de “aprender a aprender” como na formação contínua ao longo da vida.

A ligação entre o Ensino e o computador pode ser vista em um contínuo de facetas, indo desde o computador sendo usado em um ambiente de Ensino-Aprendizagem para facilitar diversas tarefas usuais, do computador tomando parte ativa e total no processo. No primeiro caso o computador age como elemento de modificação de uma cultura. O Ensino proporcionado é dependente da modificação desta cultura e é já fato corrente em muitas instituições de Ensino. Um fator importante nesta modificação de cultura é o fato de microcomputadores com capacidades suficientes para uso em tratamento de textos, preparação de gráficos, criação de pequenas base de dados, planilhas, etc.

No outro extremo temos o computador tomando todas as iniciativas do processo de transmissão de conhecimentos, desde a apresentação do assunto até a verificação de conhecimentos. Em suma, o espectro de utilizações de computador no Ensino pode ser classificado como:

- agente modificador do ambiente de vida do aluno;
- jogo educativo;
- aparelho de laboratório;
- enciclopédia;

- interlocutor pedagógico.

Os jogos, popularizados com a disseminação dos microcomputadores, produzem freqüentemente uma certa aprendizagem como efeito colateral. Por exemplo, um simulador de vôo permite introduzir noções básicas de pilotagem, outros apuram reflexos, outros desenvolvem memória. Um ponto alto nos jogos é a motivação, dependendo do filtro do aprendiz. Um ponto baixo é que o rendimento da aprendizagem pode diminuir. Como aparelho de laboratório o computador permite experiências usando o conceito de simulação (no sentido de experiências com modelos em geral). Há uma grande liberdade por parte do aluno que é livre, de uma certa forma na escolha de suas experiências.

A linguagem LOGO [94] é um exemplo simples, em que o computador simula o movimento de uma tartaruga que deixa atrás de si um rastro e que se move obedecendo a comandos. O domínio das experiências é o das figuras geométricas.

O uso de enciclopédias é quando o computador atua como armazenador de conhecimentos que podem ser consultados segundo as necessidades dos alunos. Pode ir desde uma implementação de banco de dados para consultas até um esquema capaz de, usando conhecimentos enciclopédicos, efetuar deduções.

O uso como interlocutor pedagógico é o modo em que geralmente se pensa quando se fala em Ensino com computador e é aquele em que o computador substitui, ao menos durante intervalos de tempo, um ser humano. Este modo é especialmente útil na formação contínua após os estudos em estabelecimentos de Ensino, se bem que seu uso durante o Ensino formal possa ampliar suas possibilidades.

Alguns usos do computador no Ensino primário e secundário, podem ser dos seguintes modos:

- práticas e exercícios: é bastante usado pois os programas são geralmente simples. O programa apresenta exercícios e verifica se as respostas são boas;
- tutoriais;
- ferramentas de auxílio ao Ensino;
- simulações.

Os primeiros programas educacionais foram influenciados pela teoria "behaviorista". Neste paradigma educacional o Ensino ou instrução é um processo de estímulo-resposta, e existe uma grande preocupação em medir a aprendizagem [99].

O grande aumento das necessidades educativas na Sociedade contemporânea e a redução dos custos dos sistemas computacionais e das telecomunicações têm levado ao interesse pela implementação de diversos sistemas de Ensino e aprendizagem à

distância (no apêndice A podem ser encontrados alguns endereços na Internet sobre Educação à Distância). A implementação de processos de aprendizagem com a utilização de redes de computadores, é capaz de responder a praticamente todas as restrições levantadas à educação à distância tradicional (vide Ramos [100] e Rezabek [102]).

Em 1974, Toynbee [116] afirmava que:

*... “Quase todos os agrupamentos humanos sofrem no momento violentas transformações em seus costumes, idéias e instituições em virtude da ciência e da tecnologia, verificadas na Sociedade ocidental nos últimos três séculos e que atualmente afetam o mundo. Esse impacto é tal que, no momento, abala a própria Sociedade ocidental que deu origem à ciência e à moderna tecnologia. Uma das coisas importantes que aprendemos através da experiência é que é possível a adaptação às rápidas transformações”...*

Como se estivesse prevendo o que viria nos anos seguintes, sobre o impacto dos computadores e da televisão, Toynbee [116] mesmo considerando que o computador limitava as liberdades individuais, considerava-o benéfico e transformador da Sociedade:

*...“ Os computadores vêm conquistando o mundo a passos largos, visto responderem à necessidade de manejar grandes quantidades e magnitudes, características do mundo atual. O computador pode manejar uma grande quantidade de informação com rapidez e pode colocar essa informação processada à disposição dos administradores, gerentes e governos. Podem, ainda, organizar as relações humanas em grande escala, embora o preço seja a despersonalização do indivíduo. O computador impede o ser humano de controlar as exigências feitas a ele pelas agências privadas ou autoridades públicas...*

*... Creio que a televisão e os computadores poderiam ser instrumentos poderosos na promoção da docilidade necessária a um governo ditatorial mundial...”*

A Sociedade tornou-se altamente dependente do computador e das redes de computadores, tornando-se também mais vulnerável ao seu mal funcionamento e uso. É claro que as falhas e o mal uso dos sistemas computadorizados levam a problemas que tomam dimensões desastrosas. Estes problemas tem criado uma nova faixa de problemas sociais, tais como crimes de Informática, invasões de privacidade, desemprego tecnológico, trabalhos estressantes. Outras vezes, as falhas são usadas para retirar as responsabilidades humanas. É comum se ouvir expressões “foi um erro do computador”, “o sistema está fora do ar” para justificar problemas que poderiam ser evitados por humanos. Estes problemas geram expectativas boas e também ruins, atribuídas às rápidas mudanças tecnológicas, como por exemplo, o “Bug do Milênio” que tomou espaço na mídia neste final de século. O dilemas éticos da Computação

são muito bem retratados por Tom Forester em sua obra "Computer Ethics" [47].

Hesham [40] é enfático sobre este estado de coisas para a Educação: "... *in the past, educators asked themselves if they needed to change. Today the question is not if but how education will reengineer itself...*"

Dentro da Universidade pode-se ter a presença do computador, o qual deve servir para amplificar as capacidades (a nível de instrumentação) dos alunos, professores e do estabelecimento de Ensino melhorando sua interação. É o computador, usando a metáfora "Rodas para a mente" apresentado no "The Apple Universe Consortium" (Amsterdam, 1989), ampliando a capacidade de raciocínio, permitindo percorrer distâncias. O termo "distância" é geralmente utilizado para definir apenas o espaço geográfico. Mas as distâncias no Brasil são enormes, geográfica e culturalmente. Historicamente, desde a colonização do Brasil grandes esforços foram feitos para "interiorizar" o Brasil. Até mesmo a capital foi transferida do litoral para o Planalto Central.

Observando-se os centros de excelência educacional no Brasil nota-se que a maioria está concentrada na costa brasileira ou a menos de 500 km da mesma. Talvez isto seja devido ao fato da dificuldade de se transpassar um relevo acidentado ou por motivos bem mais diversos...

É fato conhecido que em países de primeiro mundo a densidade de boas universidades corresponde, aproximadamente a uma universidade para cada milhão ou no máximo dois milhões de habitantes. Por exemplo, na Bélgica com cerca de dez milhões de habitantes ressaltam as de Liège e Gent do governo, duas católicas de Louvain e duas livres de Bruxelas, além de faculdades universitárias de ótima qualidade em Mons, Namur e Antuérpia, todas gratuitas. As universidades particulares são subsidiadas pelo governo e nas quais se desenvolvem pesquisas de valor. Para o Brasil, com seus 160 milhões de habitantes, seria altamente desejável que tivesse cerca de uma centena de universidades nas mesmas condições, consideradas as diferenças regionais, como fator diferenciando o campo de atuação das mesmas. Assim, é que teria pouco sentido a UFSC ser um centro de excelência em florestas tropicais, da mesma forma que um laboratório de estudo de pingüins seria mal localizado na Universidade Federal do Pará. Estes números podem parecer exagerados para muitos, até mesmo para aqueles políticos ultrapassados que continuam falando de nosso país como "país do futuro" mas não dizem que futuro... estes que vendem o país e cortam verbas para o Ensino e a Pesquisa. É preciso que os centros de excelência educacionais existentes diminuam as distâncias (geográficas e culturais) entre os brasileiros e promovam a criação de outros num processo de interiorização que considere as diferenças regionais.

Os avanços na área da computação indicam uma tendência excepcional para

a universalização da Educação a baixo custo. Assim, pode-se atender o apelo da Sociedade na interiorização do Brasil, numa ação de combate a ignorância (geradora de miséria), utilizando a tecnologia das comunicações na Educação. Isto gera um salto de qualidade nos processos educacionais que dependem de Ensino a longa distância.

Grande parte das observações contrárias à utilização de modernas tecnologias na Educação dá-se não devido a tecnologia em si, mas pelo uso que se faz dela. Num contexto geral, é preciso desmitificar o computador nas Escolas, é preciso mostrar aos professores como utilizá-lo e saber como ampliar as suas capacidades. É preciso mais, é preciso valorizar o homem à máquina. Torna-se necessário aplicar métodos de Ensino que valorizem a construção de conhecimentos de ambos, do educador e do educando. Através destes preceitos pode-se distribuir, num sentido amplo e social, os conhecimentos.

Uma saída é tentar fazer com que os centros de excelência irradiem seus conhecimentos utilizando uma "Educação a Distância" que está mais ligada em vencer as distâncias geográficas e culturais do que aquela na qual os estudantes não estejam em contato direto (plano físico) com seus professores. Uma maneira que parece razoável no processo de interiorização é levar o centro de excelência ao interior através de cursos fora de sede promovendo uma interação mais ampla e uma ligação entre as pessoas para troca de idéias e experiências conforme a realidade que a cercam.

Os cursos fora de sede geralmente constituem de parte presenciais e não presenciais. Neste "Ensino distribuído" deve ser analisado que tipo de conhecimento pode e deve ser transmitido de modo presencial e não presencial. Os assuntos estabelecidos podem ser ensinados de modo não presencial mas é importante frisar que as atividades de pesquisa científica só podem ser ensinadas de modo presencial. Uma explicação para isto é que quando se aprende algum assunto, aprende-se fatos sobre este assunto e como manipular os conhecimentos corretamente. É necessário o desenvolvimento da *habilidade* adquirida na prática diária. Parece ser difícil ensinar a pesquisa sem desenvolver esta habilidade. Na maioria das vezes isto só é conseguido com a convivência no dia-a-dia do meio acadêmico e com as experiências durante anos.

Na parte não presencial deste Ensino não podem ser aplicados os mesmos métodos educacionais convencionais. Algumas adaptações devem ser feitas, mudanças técnicas, mudanças psicológicas. Todavia, as mudanças tecnológicas são muito rápidas e o educador deve se aproveitar disso para construir um ferramental de comunicação e interação mais ampla. Sendo assim, é dever do educador aprender a dinâmica dos processos de Ensino-aprendizagem, buscar alternativas para suprir as deficiências dos sistemas de Ensino, pesquisar alternativas para eliminar os proble-

mas oriundos e inerentes ao processo educacional, quaisquer que sejam. O Ensino via rede de computadores se enquadra neste novo paradigma de aprendizagem.

A milhares de quilômetros de distância é possível que o aluno de um curso fora de sede, efetivamente tome parte do processo de Ensino, participe ativamente utilizando programas educacionais que oferecem suporte ao conhecimento adquirido na parte presencial de seu curso. Ele pode fazer experimentações remotas, opinar sobre os recursos técnicos e pedagógicos dos programas utilizados. Além disso, estas experimentações tornam mais viável este processo por dois motivos: criam um mundo virtual que o estudante poderá explorar construindo seus conhecimentos (aprendendo a aprender) e são economicamente viáveis pois as informações são compartilhadas.

Os ambientes de aprendizagem via rede designados e projetados para as partes não presenciais de cursos devem observar as características psico - pedagógicas deste processo de Ensino que visa diminuir as distâncias levando o conhecimento em todas as partes. Para se tornarem efetivos, a participação dos usuários na construção destes sistemas é primordial para atender as qualidades exigidas para Ensino via rede. Uma ótima leitura sobre os impactos psicológicos da Internet no modo de vida das pessoas pode ser encontrado em Costa [83].

Num contexto educacional atualizado pode-se pensar que o computador pode ter diferentes papéis, desde o apoio aos professores e estudantes até a geração de comunidades virtuais utilizando ferramentas de IA. Assim, para atender o que parece ser uma necessidade da Sociedade, estabeleceu-se a construção de uma ferramenta de Ensino de IA. O programa para Ensino de RNA, que será apresentado neste trabalho foi piloto, construído e reformulado ao longo dos anos com a participação dos estudantes, sua nova modelagem para aprendizagem via rede de computador será aplicada em cursos presenciais e não presenciais do CPGCC da UFSC .

# Capítulo 3

## Ensino e IA

*"I'm sorry Dave; I can't let you do that".*  
- HAL 9000 in 2001: A Space Odyssey by Arthur C. Clarke.

**Ensino, Computador e Inteligência Artificial.** Como uní-los para melhor uso dos três? A esta pergunta não se pretende dar uma resposta concreta, e sim usá-la como ponto de partida para uma reflexão sobre o problema da interação do computador no processo de ensino e das possibilidades oferecidas pela IA para melhorar a qualidade deste ensino.

Quando se fala em ensinar e aprender, fala-se, de uma certa forma, em transmitir conhecimentos. Mas serão todos os tipos de conhecimentos da mesma natureza? Provavelmente não!

O conhecimento pode ser dividido em três tipos: conhecimento fatural, conhecimento dedutivo e conhecimento hábil (ou habilidade) [17]. O conhecimento fatural compreende os conhecimentos atômicos sobre um determinado assunto. Por exemplo, em geografia descritiva, o conhecimento fatural inclui o conjunto de dados sobre países, sobre relevo, etc. No estudo de línguas, o conhecimento do vocabulário pode ser considerado fatural. O conhecimento dedutivo é o conhecimento que se deve dispor em um determinado assunto para manipular conhecimentos fatuais. Assim é possível, usando conhecimentos dedutivos, a partir de um conjunto de conhecimentos fatuais deduzir outros conhecimentos fatuais. Pode-se ainda dizer que o conhecimento dedutivo permite, usando conhecimentos fatuais explícitos, explicitar conhecimentos que estavam sobre a forma implícita. No caso da densidade de população seria saber que: "para saber a densidade de população de um país divida sua população por sua superfície". No caso de uma língua estrangeira (inglês) uma tal regra seria: "para responder negativamente a uma frase que comece por "do you" basta dizer "No, I don't ". Ainda no caso de línguas, o conhecimento de

regras de gramática que permitem a partir do conhecimento explícito do vocabulário formar uma frase, pode ser considerado conhecimento dedutivo. Habilidade é o “meta-conhecimento” (conhecimento de como usar o conhecimento) sobre o uso do conhecimento dedutivo. No caso de uma língua seria o conhecimento hábil de escrever bem. Uma boa leitura sobre Conhecimento pode ser encontrada em Barreto [17].

O uso do computador deve ser um meio de facilitar a aquisição destas formas de conhecimento e o uso de técnicas de IA pode tornar esta aquisição mais eficiente.

### 3.1 Origens da IA

Sowa [113] distingue os sistemas baseados em conhecimento em dois campos:

- Ciência Cognitiva que é um misto de Filosofia, Lingüística e Psicologia com uma forte influência da Ciência da Computação;
- IA que é um complemento da Engenharia.

As origens da IA remontam há cerca de 2000 anos de tradição na Filosofia, na qual emergiram as teorias de raciocínio e aprendizado, dentro do ponto de vista de como a mente é constituída pela operação de um sistema físico.

Nos últimos 400 anos, os matemáticos desenvolveram Teorias de Lógica, Probabilidade, Tomadas de Decisões e Computação. Da Psicologia, tem-se para investigação da mente humana, uma linguagem científica para expressar as teorias existentes. Da Lingüística, tem-se teorias de estrutura e significado da linguagem. E, finalmente, dentro da Ciência da Computação tem-se ferramentas para tornar a IA uma realidade [106].

Sowa [113] considera Aristóteles e Leibniz como os fundadores da Ciência Cognitiva e IA, respectivamente. Todo o trabalho correspondente a representação do conhecimento nos últimos 2300 anos podem ser vistos como uma aplicação, refinamento, extensão ou re-invenção do que foi desenvolvido por Aristóteles. A quantificação do conhecimento e raciocínio no trabalho *Characteristica Universalis* fez de Leibniz o primeiro proponente da IA.

Uma divisão de fases históricas da IA foi feita por Barreto [17]. É interessante relacionar os fatos marcantes que justificam esta divisão, como se segue. A bibliografia utilizada pode ser encontrada em vários endereços mostrados no Apêndice A.

## Época Pré-histórica (? - 1875)

Nesta fase, havia o interesse em criar seres e mecanismos apresentando comportamento inteligente. Os mitos de gregos já incorporavam estas idéias. Nos séculos XV e XVI foram desenvolvidos diversos mecanismos usando mecânica de precisão desenvolvida nos autômatos, mecanismos baseados em teares, etc. Foram criados relógios e outros dispositivos de medição.

No século XVII, Descartes apud Mamroud [73] propôs que os corpos dos animais não são mais do que máquinas complexas. Outros pensadores da época, ofereceram variações e colaborações a este *Mecanicismo Cartesiano*.

Havia também o apelo ao sobrenatural. Em 1580, é dito que Rabbi Loew, oriundo de Praga, deu vida a um homem de barro [73]. Adicionalmente, místicos, adeptos do *I Ching e Kabala*, exploravam permutações numéricas para dar significado as virtudes humanas. Astrólogos também procuravam explicações para as experiências humanas seguindo a posição dos planetas.

Em 1642, Pascal criou a primeira calculadora mecânica digital [65]. Em 1673, Leibniz provou que a máquina de Pascal era capaz de fazer multiplicações e divisões. A partir daí inicia-se uma profusão de dispositivos, e no século XVIII os brinquedos mecânicos tornaram-se populares, tal como o pato mecânico de Vaucanson [73].

No início do século XIX, Mary Shelley publica a história do monstro Frankenstein [62]. George Boole desenvolve a álgebra binária representando algumas *Leis do Pensamento* [26].

As Figuras 3.1 e 3.2 mostram Charles Babbage & Ada Byron (Lady Lovelace). Ambos trabalharam em máquinas de calcular mecânicas [62]. Lady Lovelace pode ser considerada como a primeira programadora da história. Em 1842, Lady Lovelace fez a primeira referência a uma máquina inteligente no sentido atual (a máquina analítica de Babbage) que seria capaz de compor peças musicais de qualquer complexidade e extensão [17].

As maiores limitações encontradas nesta época são os aspectos construtivos de tais dispositivos e os insucessos dos apelos ao sobrenatural. Em 1875, o italiano Camilo Golgi descobre o neurônio. Posteriormente, Cajal usa o método de Golgi para mapear cada parte do sistema nervoso [17].

## Época Antiga (1875-1943)

Em 1917 Karel Capek [85] inventa a palavra “Robo” (em tcheco ‘robot’ significa **trabalhador**, mas a tradução, em 1923, para o inglês manteve a palavra original). Nesta fase, o objetivo era, então, entender a inteligência humana. Na década de 40, os cientistas direcionaram seus trabalhos para a simulação do cérebro humano no



Figura 3.1: Charles Babbage



Figura 3.2: Ada Byron - Lady Lovelace

computador como meio de entender a inteligência humana. Houve grandes avanços nos estudos da Psicologia (nascimento da Psicanálise) e da neurofisiologia. Estes avanços devem-se ao interesse no estudo do cérebro e do comportamento humano.

Em 1943, surgiu o primeiro trabalho com este enfoque, apresentado por McCulloch & Pitts apud Buchanan [26]. Era um modelo matemático que tentava reproduzir o funcionamento de neurônios tomando como base a idéia de que um neurônio em um dado momento está excitado ou não excitado. Outra grande contribuição de McCulloch & Pitts foi o artigo “A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity” [77] que pode ser considerado como sendo os fundamentos das RNA.

O término desta fase é marcada por este modelamento matemático do neurônio que é mostrado na seção 3.7.3.

### Época Romântica (1943-1956)

Na Alemanha, entre 1938 e 1941, Konrad Zuse & Helmut Schreyer (mostrados na Figura 3.3) construíram três versões de uma calculadora eletromecânica programável, denominados de Z1 (1938), Z2 (1939) e Z3 (1941). Z3 pode ser considerado o primeiro computador programável [29].

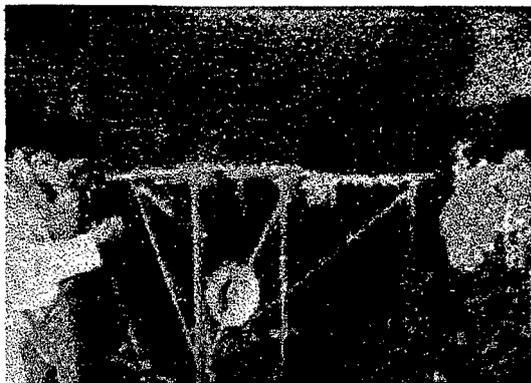


Figura 3.3: Konrad Zuse & Helmut Schreyer - primeiro computador programável

Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener [127] & Julian Bigelow cunham o termo *Cibernética* em 1943. Surge em 1948 o popular livro de Wiener com o mesmo nome [105].

Os modelos desta época eram inspirados na natureza e surgem os primeiros mecanismos imitando o funcionamento de redes de neurônios. Em 1949, Donald Hebb [59] propõe a “Lei de Hebb” que afirma que força da conexão sináptica entre os neurônios excitados simultaneamente tende a aumentar. E ainda, o objetivo é simular a inteligência humana em situações pré-determinadas.

Em 1950, Alan Turing (Figura 3.4) propôs o Teste de Turing (Turing’s “Computing Machinery and Intelligence”) para oferecer uma definição operacional de inteligência que fosse satisfatória. Definiu o comportamento inteligente como a habilidade de executar um desempenho em todas as tarefas cognitivas, suficientes para enganar um interrogador num teste no qual um computador deveria ser interrogado por um humano via um teletipo, ambos em locais separados. Maiores detalhes sobre o Teste de Turing podem ser obtidos em Barreto [17] e Russel [106].

Ainda em 1950, Claude Shannon [109] publica uma detalhada análise de jogos de xadrez. Iniciam-se os primeiros programas imitando comportamento inteligente. Em 1955, Newell, Shaw e Simon desenvolvem a primeira linguagem de IA, a “IPL-11” [73]. Em 1956, Newell, Shaw, e Simon criam “The Logic Theorist”, para solução de problemas matemáticos.



Figura 3.4: Alan Turing - propôs o Teste de Turing

Em 1956, McCarthy, Minsky, Newell e Simon encontram-se no Dartmouth College [76]. Desse encontro surge o termo *Inteligência Artificial* e origina o livro “Automata Studies” [109] onde se tem o primeiro artigo sobre Redes Neurais Artificiais (RNA).

### Época Barroca (1956-1969)

Após o encontro do Dartmouth College [76], as expectativas criadas estimulam diversas pesquisas. Em 1957, Newell, Shaw e Simon demonstram “General Problem Solver” (GPS) [78]. Em 1958, McCarthy [76] introduz o LISP no MIT. Dois anos depois Frank Rosenblatt [104] consegue generalizar o modelo proposto por McCulloch acrescentando a aprendizagem e denomina-o de Perceptron. Este possui uma única camada e, sucintamente, pode ser descrito como uma unidade de processamento que aceita entradas multidimensionais, realiza a computação de uma função interna (alterável) que lhe provê a capacidade máxima de resolver apenas problemas linearmente separáveis.

Em 1959, Widrow e M. Hoff [39] introduzem o Adaline (elemento linear adaptativo). E em 1962 J.McCarthy muda-se para Stanford, fundando o Stanford AI Lab em 1963 [76]. As pesquisas continuam a se desenvolver; M. Ross Quillian introduz as redes semânticas como representação do conhecimento, Minsky publica “Steps Towards Artificial Intelligence” [78].

Em 1965, Simon entusiasmado afirma que “... *perto de 1985 as máquinas serão capazes de fazer qualquer trabalho que o homem pode fazer*”. Todavia, Dreyfus argumenta contra a possibilidade da IA. Em 1966, Donald Michie funda o Edinburgh AI Lab [78].

O objetivo era expandir ao máximo as aplicações da IA tanto usando a abordagem simbólica quanto a conexionista.

Ainda no início dos anos 60 inicia-se o projeto de redes semânticas para tradução de linguagens (inglês-russo) pela máquina. É também fundada a primeira indústria de robos (“Unimation”). Feigenbaum & Julian Feldman publicam “Computers and Thought”, a primeira coleção de artigos sobre IA [73].

Em 1965, Joseph Weizenbaum (MIT) controla o *Eliza*, um programa interativo que é capaz de manter um diálogo (em inglês) sobre qualquer tópico. A versão mais popular deste programa imita um psicoterapeuta rogeriano [26].

Em 1967, surge então o Sistema Especialista Dendral para análise química de compostos orgânicos [39].

O computador “HAL” de Arthur Clarke brilha no filme *2001 - Uma odisséia do espaço* de Stanley Kubrick em 1968. Neste mesmo ano, tem-se o primeiro Doutor em “Computer Science” (Wexelblat na Universidade da Pennsylvania) e a tese de Alan Kay descreve o primeiro computador pessoal [85].

Um fato marcante ocorre: a publicação, em 1969, do livro “Perceptrons” de Minsky e Papert [79] mostrando as limitações das redes neurais no aprendizado de redes complexas. Isto condenou as pesquisas em redes neurais, inicia-se então a época das trevas ...

### Época das Trevas (1969-1981)

A publicação do livro “Perceptrons” [79] provocou a separação das pesquisas de IA simbólica e conexionista. O livro pode ser considerado um dos primeiros estudos de complexidade de problemas nas redes neurais. Infelizmente, Rosenblat havia morrido pouco antes e não pode defender suas idéias. Assim os fundos de pesquisas para esta área foram cortados. Além disso, os computadores eram usados principalmente para aplicações administrativas e numéricas. Havia também interesse dos fabricantes de computadores em desmistificar a máquina para aumentar as vendas. Isto levou ao pouco interesse pela IA [17].

As aplicações reduziram-se aos laboratórios. Nos anos 70, as pesquisas da IA simbólica voltaram-se para os SE (SCHOLAR, MYCIN, META-DENDRAL). Um marco importante nesta época foi o desenvolvimento do Prolog (1972) por Alain Colmerauer [26].

### Renascimento (1981-1987)

No início dos anos 80, os SE tornaram-se comerciais, muitos deles com milhares de regras. Houve um crescimento da Lógica e a proliferação de máquinas suportando ferramentas para IA. Alguns poucos pesquisadores continuaram seus trabalhos em RNA (Grossberg, Kohonen, Widrow, Hinton) [26].

Em 1981, Kazuhiro Fuchi anuncia o projeto japonês de quinta geração (“Japanese Fifth Generation Project”). A linguagem Prolog popularizou-se por ter sido escolhida para aquele projeto [73].

Em 1982, a publicação “Alvey Report” do governo britânico sobre *informação tecnológica avançada* aumenta o uso dos SE na indústria. Neste mesmo ano, John Hopfield ressuscita as redes neurais com seu modelo não linear [26]. Houve então o renascimento das pesquisas em redes neurais.

Em 1986, o trabalho de McClelland e Rumelhart “Parallel Distributed Processing” apresentando o algoritmo de retropropagação para redes multi-camadas que resolvia o problema do Perceptron. As empresas de RNA começam a aparecer [78]. Neste mesmo ano, o *reconhecimento ótico de caracteres* (OCR) já era uma indústria de 100 milhões de dólares. Em 1987, Kohonen apresenta seu mapa de características (rede de Kohonen), Kosko introduz os modelos das memórias associativas (BAM). Ocorre a evolução da IAS e da IAC separadamente [73].

### Época Contemporânea (1987 - atual)

Em 1988, Minsky e Papert publicam a edição revisada do livro “Perceptrons” [80]. Em 1992, termina o projeto japonês de Quinta geração e inicia-se o projeto japonês “Real World Computing”. Os sistemas de processamento de linguagem natural são empregados em verificadores ortográficos e gramaticais, em sistemas de busca em banco de dados, tornando-se comerciais. As pesquisas em IA aumentam e as RNA começam a ser aplicadas nos mais diversos domínios [26].

No final do anos 90, tornam-se comuns conceitos as abordagens híbridas para os SE utilizando RNA e sistemas nebulosos. Outras paradigmas e denominações para IA surgem a cada dia. Termos como Inteligência Computacional, Computação Evolucionária, IA Distribuída, Agentes Inteligentes, Sistemas de Descoberta do Conhecimento, “Datamining”, Raciocínio Qualitativo, têm se tornado comum nas mais diversas áreas. As limitações destes sistemas, naturalmente, ainda são desconhecidas...

## 3.2 Como é difícil definir IA ...

Em 1995, Barreto em suas aulas [15] sobre Lógica Nebulosa fazia observações sobre o conceito de IA, que varia de acordo com o tempo, com a época e com o contexto. Suas palavras são transcritas aqui:

... Há muitos séculos na Grécia, se chamava de máquina inteligente, um distribuidor de água, onde o indivíduo colocava uma moeda e em função do peso desta

moeda, a quantidade de água saía. Bem mais recentemente, com a aproximação entre coisas biológicas e mecânicas na Cibernética, entendia-se que algo que tivesse “feedback” (realimentação) seria considerado inteligente.

Por volta dos anos 50, a preocupação em construir artefatos que tivessem comportamento inteligente, era considerado inteligente aquele que tinha a propriedade de manter certos valores de saída independentemente da perturbação.

No início dos anos 60, haviam muitas expectativas sobre IA, algumas delas infrutíferas como o projeto de tradução automática de línguas (inglês-russo) desenvolvido pelo MIT, devido ao problema da dimensionalidade. Atualmente, jogos de computadores que eram alguns anos considerados de IA, hoje não são mais porque seu funcionamento tornou-se conhecido e estes tornaram-se operacionais.

Assim pode-se considerar a IA como uma espécie de desejo de se reproduzir tarefas que diriam ser inteligentes se fossem desenvolvidas por seres naturais, porém não é possível fazer uma transição abrupta na consideração de coisas inteligentes e não inteligentes....

Barreto [17] explica que até o final dos anos 50 os computadores eram olhados com certa desconfiança por executarem tarefas então designadas a humanos, daí sua denominação de *cérebros eletrônicos*. Todavia, no início dos anos 60 a popularização destas máquinas destruiu tal mito. Apesar de não manifestarem qualquer tipo de inteligência os computadores eram extremamente úteis em tarefas correntes e a “burrice” era sua maior qualidade. Entretanto, pesquisas voltadas a dotar o computador de características inteligentes começaram a ter resultados significativos. Mas o cidadão comum só ouviu falar em IA com o retumbante anúncio do projeto japonês de quinta geração (1981) que pretendia construir uma nova geração de computadores inteligentes.

Existe muita discussão sobre as definições da IA na literatura, dentre as quais se destacam:

Winston [128]: ... IA é o estudo de conceitos que permitem aos computadores serem inteligentes.

Shank apud Barreto [17]: ... as pessoas acreditam que dizer que algo não humano é inteligente diminui os humanos, mas golfinhos, baleias, gatos e cachorros são inteligentes.

Haugeland apud Barreto [17]: ... IA é um novo esforço de fazer computadores pensarem... máquinas com mentes, no sentido completo e literal.

Kurzweil apud Russel [106]: ... é a arte da criação de máquinas que executam funções que requerem inteligência quando desenvolvida pelas pessoas.

Rich [103]: ...inteligência artificial é o estudo de como fazer os computadores realizarem coisas que, no momento as pessoas fazem melhor. Adotar esta definição

pode condenar a IA ao insucesso, pois cada vez que for resolvido um problema ele deixa de ser do domínio da IA [17].

Ainda, Cherniak e McDermott apud Barreto [17] afirmam que: ... *IA é o estudo das faculdades mentais com o uso de modelos computacionais.*

Schalkoff apud Barreto [17] apresenta uma definição fria: ... *um campo de estudo que esforça-se para explicar e emular o comportamento inteligente em termos de processos computacionais.* Esta definição parece ser adequada para justificar os estudos cognitivos abordados neste trabalho como pertencentes à IA.

Russel [106] apresenta as definições organizadas em quatro categorias:

Tabela 3.1: Definições de IA segundo Russel [106]

|                                  |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| Sistemas que pensam como humanos | Sistemas que pensam racionalmente |
| Sistemas que agem como humanos   | Sistemas que agem racionalmente   |

Para Russel [106] o campo da IA tenta entender as entidades inteligentes mas diferentemente da Filosofia e da Psicologia, que também se preocupam com a inteligência, a IA esforça-se para construir bem como entender as entidades inteligentes. Russel afirma que um sistema é dito racional se faz a coisa certa. Esta abordagem dita *racionalista* envolve uma combinação de matemática e Engenharia. Os sistemas que agem como humanos são ilustrados pelo Teste de Turing [106].

Segundo Russel para que o computador passe no teste ele deverá ter as seguintes habilidades:

- processamento de linguagem natural: ser capaz de comunicar efetivamente em inglês (ou qualquer outra linguagem humana);
- representação do conhecimento: armazenar a informação antes ou durante o interrogatório;
- raciocínio autônomo: usar a informação armazenada de forma a responder as questões do interrogador e traçar novas conclusões;
- aprendizado de máquina: adaptar-se a novas circunstâncias e detectar e extrapolar padrões.

Barreto [17]: ... *É muito difícil uma definição, pois já é mesmo difícil definir o que é inteligência, o que é artificial ou natural...*

No contexto deste trabalho, pode-se perceber que uma definição do que é natural, artificial, inteligente ou não, parece ser um conceito nebuloso<sup>1</sup>...

<sup>1</sup>No sentido da Lógica Nebulosa.

### 3.3 Alguns programas de Ensino utilizando IA

Atualmente existe uma grande quantidade de programas de ensino, alguns utilizando em maior ou menor grau de técnicas de IA. Estes programas popularizaram-se a partir dos anos 60. Uma breve descrição é feita aqui, para maiores detalhes aconselha-se a leitura de Barr [14].

Em 1967, Suppes apud Barr [14] desenvolveu o EXCHECK para ensino de Lógica e Teoria dos Conjuntos. Este programa reagia às respostas dos alunos com mensagens instrucionais. Pode-se dizer que foi o precursor da modelagem qualitativa pois representava a matéria através de demonstrações e exemplos.

Três anos depois, Carbonell [27] desenvolveu o SCHOLAR para ensino de geografia. Utilizava a modelagem do estudante. A representação do conhecimento era feita por uma rede semântica.

Em 1973, foi desenvolvido o INTEGRATION. Sua principal característica é que integrava o conhecimento do domínio com o modelo do estudante de maneira a direcionar a seqüência de ensino [17].

O WHY, foi implementado em 1977 por Stevens, Collins & Goldwing apud Barreto [17], usava a técnica socrática. Nesta técnica as perguntas são formuladas para provocar a reflexão do aprendiz sobre o assunto.

A concepção do BUGGY em 1978, fazia um modelo psicológico do aluno para detectar erros conceituais em cálculos aritméticos. Possuía mecanismos de aprendizagem usados para aprender como o aluno resolve problemas [66].

O SOPHIE (I, II, III) ensina, através de tentativas e erro, como detectar defeitos em um circuito elétrico. Talvez seu maior mérito seja motivar o estudo da física qualitativa. Pode ser considerado pioneiro no uso da simulação [17].

WUMPUS e WEST [66] são dois jogos aos quais se incorporou um módulo para orientar jogadas e ensinar a jogar. Os jogos podem funcionar de modo totalmente independente da parte de ensino.

O MYCIN utilizado para auxílio no diagnóstico de doenças infecciosas do sangue, sugere uma separação entre a base de conhecimento e o modo de manipulação do conhecimento [14].

O GUIDON, construído em 1979, inicialmente usando a base de conhecimentos do MYCIN pode, em princípio ser utilizado em outros domínios de conhecimento. O sistema caracteriza-se pelo uso de graus de pertinência da mesma forma usada em conjuntos nebulosos. Uma boa leitura sobre o GUIDON é o livro de Clancey [31] que aborda os aspectos construtivos de sistemas de tutoria baseados em conhecimentos.

MUMATH é um programa de solução de problemas de matemática simbólica tais como cálculo matricial, cálculo diferencial e integral. O programa não apresenta conjunto de lições mas oferece, como LOGO, um ambiente experimental, com uso

de programa capaz de tratar símbolos, que colabora no ensino de matemática [66].

O PROFCOMP no início dos anos 80 introduziu simulação e conceitos de hipertexto no ensino de circuitos. O SIMED integrou conceitos de hipertexto, simulação e IA, no ensino de medicina. Detalhes sobre estes sistemas podem ser obtidos em Pagano [91].

O MENO-TUTOR, de 1984, não possui nenhum domínio específico. Se preocupa basicamente com o módulo de ensino contendo regras pedagógicas. Este módulo é descrito como um conjunto de unidades de decisão organizadas em três níveis de planificações que vão refinando sucessivamente as ações do tutor [99].

Em 1988, surgiu o APLUSIX, para ensino de manipulação algébrica. Segue o modelo clássico de ICAI, possuindo um SE baseado em regras, um módulo pedagógico, modelo de estudante e uma interface ergonômica [99].

O quadro 3.2 mostra outros esforços proeminentes historicamente no desenvolvimento de programas de ensino com IA.

Tabela 3.2: Alguns ITS históricos - adaptado de Kaplan [66]

| ITS      | Desenvolvedor | Ano  | Domínio             | palavra-chave                 |
|----------|---------------|------|---------------------|-------------------------------|
| DEBUGGY  | Burton        | 1982 | aritmética          | diagnósticos<br>"off-line"    |
| STEAMER  | Hollan        | 1983 | projeto de navios   | simulação,<br>modelos mentais |
| LMS      | Sleeman       | 1984 | álgebra             | regras                        |
| MENO     | Woolf         | 1984 | metereologia        | regras<br>pedagógicas         |
| PROUST   | Johnson       | 1984 | programação         | diagnose                      |
| ACTP     | Anderson      | 1984 | tutor LISP          | modelagem<br>cognitiva        |
| SIERRA   | Vanlehn       | 1987 | aritmética          | predição<br>de erros          |
| SHERLOCK | Lesgold       | 1991 | eletrônica<br>de AF | aprendizagem<br>cognitiva     |

### 3.4 Paradigmas formais de sistemas de Ensino com IA

Vários paradigmas educacionais são atualmente interpretados para desenvolver elementos formais de sistemas de Ensino com IA. De um modo geral, os modos de utilização da IA na construção de programas de Ensino em geral englobam:

- modelo da matéria,
- modelo do aluno,
- estratégias de ensino.

Segundo Barreto [17] o modelo do aluno significa o conhecimento do que o aluno sabe e não sabe. Sendo o modelo do aluno uma representação dos conhecimentos anteriores do aluno, de suas dúvidas, de seu modo preferencial de aprender, envolve conhecimentos de Psicologia e Ciência Cognitiva.

O modelo da matéria motiva estudos dependentes do assunto a transmitir. Assim é que para ensinar o funcionamento de um sistema físico é útil o uso da física qualitativa da mesma forma que para o ensino de geografia tais conceitos deixam de ser importantes e outros tomam seu lugar.

As estratégias de ensino são campo da didática e como tais interagem com o assunto a ensinar e com o modelo do aluno.

Cada um dos níveis de possibilidade de uso da IA corresponde a técnicas particulares, e necessidades freqüentemente diferentes, interagindo com diversos campos de conhecimento. Pela interação com outros assuntos o uso da IA em ensino torna-se não somente uma forma mais adequada de transmissão de conhecimentos mas um estímulo a novas pesquisas.

Existem inúmeras variações mas, em geral, os sistemas de ensino inteligente auxiliados por computador possuem três módulos básicos, conforme encontrado em Ulbricht [119]:

- módulo especialista: possui o conhecimento a ser compreendido;
- módulo de aprendizagem: contém o histórico do aluno, seus erros e a reprodução do comportamento do aluno;
- módulo tutor: contém o conhecimento necessário para listar e apresentar o conhecimento do módulo especialista empregando este conhecimento para efetuar as estratégias didáticas.

Observa-se na literatura que existem superposições com abordagens híbridas que podem combinar os diversos módulos. Nievola [84], por exemplo, apresenta a estrutura básica de um sistema de ensino inteligente auxiliado por computador com os três módulos principais anteriores, sendo o módulo de aprendizagem denominado "módulo estudante". Estas divisões são mais conceituais que concretas. Nievola desenvolveu um sistema de ensino inteligente no qual o estudante ou médico a ser treinado, antes de manipular diretamente os pacientes no serviço de atendimento de emergência de traumatologia, exercita seus conhecimentos em um simulador.

Em [119] Ulbricht aponta a contribuição de um simulador e de um gerador de exercícios na realização de um tutor inteligente voltado para a formação de oficiais bombeiros, que trabalham a nível de decisão. O processo de ensino foi decomposto em várias tarefas principais, como:

- apresentação do problema ao aluno;
- aquisição e análise da resposta;
- evolução do nível de conhecimento;
- encadeamento sobre uma outra situação.

Cada etapa do processo pedagógico, coloca em funcionamento um módulo particular. Assim, a apresentação do problema é feita por um simulador, a análise da resposta é feita por analisador, que vai submeter o resultado da avaliação ao gerador de exercícios, que, em função do objetivo pedagógico fixado vai gerar um novo exercício.

Tarby [115] divide o projeto de sistemas tutoriais inteligentes em quatro módulos principais:

- Projeto do módulo especialista: o papel deste módulo é analisar os resultados do aluno e transmiti-los ao módulo do professor;
- Projeto do módulo modelo de aluno, o qual é a representação computacional do estudante. Ele contém o conhecimento, as crenças, etc., do aluno;
- Projeto do módulo professor. Este módulo é a representação computacional do professor. Um de seus papéis é o gerenciamento da seqüência das lições;
- Projeto da interface com o usuário (GUI). A interface com o usuário é muito importante porque é obrigatório o uso da interface pelo estudante.

Estes elementos requerem diversas disciplinas (Psicologia, Lingüística, Pedagogia, Computação, etc.) que devem ser usadas em conjunto. Muitos estudos recentes reforçam sua atenção no diálogo humano com o computador. O diálogo é definido por Tarby [115] como um conjunto de interações possíveis do estudante numa aplicação e a realimentação visível produzida por esta aplicação. Dois problemas ainda persistem atualmente neste domínio.

Primeiro é o projeto deste diálogo, e segundo, é a implementação e o gerenciamento deste diálogo. Num projeto de ITS encontra-se os seguintes problemas:

- O que o estudante pode fazer?
- Quais são as maneiras possíveis para que o estudante obtenha um resultado?
- Como deveria ser construído o ITS? Quais são os tópicos que os estudantes devem aprender e quais são os tópicos que eles podem descartar?

Após o projeto, torna-se necessário implementar o diálogo. Uma vez que isto é feito, Tarby [115] aponta que poderão surgir os seguintes problemas:

- Como podem ser representadas as restrições das lições?
- Como o estudante pode ser auxiliado quando necessita?
- Como pode ser assegurado que o estudante só fará o que lhe é permitido?

Estes problemas ainda são muitos complexos pois os estudantes deverão trabalhar numa ampla escala de decisão para não transgredirem as restrições dos diálogos.

Muitos trabalhos estão sendo feitos no campo da Orientação a Objetos, formalismos, diagramas de estado e Redes de Petri. Tarby [115] sugere modelos que tenham uma "lógica de uso" para processo e dados, fazendo especificações coerentes com a visão do usuário da aplicação (planejamento hierárquico). Trata-se de um trabalho interessante pois a junção dos objetos, de regras e de um motor de inferência para manipulação destas regras permite ao usuário o gerenciamento automático da aplicação através da interface.

Segundo Barreto [17] ... *estamos começando. Precisamos começar bem. Para isso devemos refletir nas possibilidades de realização prática a curto, médio e longo prazo. E tentar que as possibilidades correspondam às necessidades. Vejamos as necessidades e comentários quanto as possíveis realizações. Necessidade de facilitar a preparação da lição. Em lugar de forçar o autor a uma preparação de todos os detalhes da lição, desenvolver ferramentas capazes de ajudar na composição do material didático.*

*Que bom seria se o programa orientasse na escolha das páginas da lição! Necessidade de gerar problemas adaptados ao aluno. Que bom seria se o programa, sentindo a personalidade e formação do aluno, pudesse sugerir problemas personalizados! Isso é especialmente interessante em ensino onde a componente de liberdade é grande. Necessidade de dar explicações sintonizadas com a necessidade do aluno.*

*Que bom seria se o programa omitisse explicações desnecessárias e fosse diretamente ao assunto! Um bom professor humano faz isso! Com a resposta a alguma pergunta ou com uma pergunta do aluno ele cria um modelo mental do conhecimento do aluno, da matéria e dá a explicação conveniente.*

Trata-se de ampliar a idéia do “help” sensível ao contexto. Neste mesmo trabalho Barreto observa o acoplamento dos conceitos de simulação e IA :

*... que bom seria se as explicações de uma simulação fossem dadas em linguagem natural! A interpretação dos resultados seria automática ...*

*Um modo de compreender um assunto é ter de explicá-lo. As técnicas de inteligência necessitam uma explicação do conhecimento. E é assim que se pode esperar dos estudos para aplicações ao ensino uma melhor compreensão de todo o processo de aprendizado...*

Uma forma mais interessante e recente de classificar tais sistemas é utilizar conceitos de IA distribuída [19], assim o sistema poderá conter:

- agente especialista: origem do conhecimento a ser transmitido, pode ser humano ou outro sistema de ensino cuja base de conhecimento é consultada;
- agente espelho do especialista: que contém o conhecimento a ser transmitido, com a capacidade de responder dúvidas, reconhecer a solução errada e apresentar diferentes exercícios com solução comum;
- agente estudante: geralmente um humano mas poderia ser também outro sistema de ensino;
- agente espelho do estudante: onde são armazenadas as informações sobre o aluno (quantidade de compreensão do assunto, estratégia de ensino preferida, erros cometidos no processo de aprendizagem e estratégia utilizada para a resolução de problemas) e determinando o nível em que o aluno se encontra com relação a um conhecimento específico;
- agente tutor: que contém as estratégias, regras e processos que orientam as interações do sistema com o estudante. Cabe a este módulo determinar que tipo de problema o aluno deve resolver num determinado momento, controlar e criticar o rendimento do aluno, facilitar ajuda sempre que solicitado, selecionar

material de apoio em casos de erros e permitir ou não um determinado erro do aluno;

- agente interface com o usuário: encarregado de gerar procedimentos corretos para o estudante, interpretar suas respostas, organizá-las e repassá-las ao sistema. Para este módulo é importante resolver os problemas de compreensão da linguagem natural.

### 3.5 IA Construtivista

Vários trabalhos em IA tem adotado a concepção Construtivista baseada nos trabalhos de Piaget [95],[96],[97]. Jean Piaget nasceu em 1896 em Neuchâtel na Suíça [60]. É conhecido como o fundador da Epistemologia Genética<sup>2</sup>. De acordo com seus estudos [95], a criança nasce com poucos esquemas sensório-motores (“sensorimotor schematas”), os quais oferecem uma estrutura para suas interações iniciais com o ambiente.

As primeiras experiências da criança são determinadas por estes esquemas sensório-motores. Ou seja, somente os eventos que podem ser assimilados<sup>3</sup> nestes esquemas podem ser respondidos pela criança, portanto são limitados pela experiência.

Por meio da experiência, todavia, estes esquemas iniciais são modificados. Cada experiência contém elementos únicos a fim de que a estrutura cognitiva possa ser acomodada<sup>4</sup>.

Através desta interação com o ambiente, a estrutura cognitiva muda, permitindo o crescimento intelectual constante através de inúmeras experiências. Este processo é lento, pois um novo esquema sempre envolve o previamente existente. Desta maneira, o crescimento intelectual inicia com a criança respondendo reflexivamente ao ambiente, desenvolvendo pontos onde seja capaz de ponderar os eventos e explorar mentalmente os resultados possíveis.

A “interiorização”, segundo Piaget [95], resulta no desenvolvimento de operações que livram a criança da necessidade de lidar diretamente com o ambiente, permitindo que elas façam manipulações simbólicas. O desenvolvimento das operações (ações interiorizadas) oferecem capacidade para criança lidar com meios altamen-

---

<sup>2</sup>Epistemologia Genética é o termo utilizado para descrever o conhecimento como uma função da maturidade e da experiência.

<sup>3</sup>A resposta ao ambiente físico, de acordo com as estruturas cognitivas existentes, é denominada *assimilação*. A assimilação refere-se ao “casamento” entre a estrutura cognitiva e o ambiente físico. A assimilação pode ser equiparada ao reconhecimento.

<sup>4</sup>Modificação das estruturas cognitivas como resultado de experiências que não são assimiladas nas estruturas cognitivas existentes. A *Acomodação* pode ser equiparada ao aprendizado.

te complexos. Ao lidar com ambientes mais complexos, elas se tornam capazes de desenvolver suas ações intelectuais.

O termo *inteligência* é usado por Piaget [100] como toda atividade adaptativa. Os comportamentos das crianças variam e a diferença está na estrutura cognitiva disponível em cada uma. Para Piaget [95], uma ação inteligente sempre tende a criar um equilíbrio entre o organismo e seu ambiente sob determinadas circunstâncias. O nome deste estado equilibrado é denominado *Equilibração*.

Nos estudos de Piaget [95], [96] [97] pode-se acompanhar a evolução da inteligência desde de suas primeiras manifestações, observando a criança construindo e coordenando suas ações mentais, elaborando sua intuição espacial até atingir a capacidade de adaptação e criação.

Embora afirme que o desenvolvimento intelectual seja contínuo durante a infância, Piaget [97] decidiu denominar estes estágios do desenvolvimento intelectual descrevendo quatro grandes estágios:

1. sensório-motor: no qual a criança lida diretamente com o ambiente utilizando seus reflexos inatos;
2. pré-operatório: a criança inicia a formação de conceitos rudimentares;
3. operatório-concreto: a criança utiliza ações interiorizadas ou pensamentos para resolver seus problemas na sua experiência imediata;
4. operatório-formal: a criança pode ponderar completamente situações hipotéticas.

A Teoria de Piaget [97] tem contribuído bastante no campo da Educação. Para Piaget, as experiências educacionais devem ser construídas em torno da estrutura cognitiva do estudante. Crianças de mesma idade e mesma cultura tendem a ter estruturas cognitivas similares, é normal que elas tenham diferentes estruturas cognitivas e, portanto, requeiram diferentes tipos de materiais de aprendizagem. De maneira que os materiais possam ser aprendidos estes devem ser parcialmente conhecidos e parcialmente desconhecidos. A parte conhecida será assimilada e a parte desconhecida necessitará da modificação da estrutura cognitiva da criança (acomodação).

Portanto, para Piaget, a educação ótima envolve suaves mudanças nas trocas de experiências para o estudante a fim de que os processos duais de assimilação e acomodação promovam o crescimento intelectual. O professor deve conhecer o nível de funcionamento da estrutura cognitiva de cada estudante, de modo a criar tais experiências.

Piaget e os “behavioristas” tem um ponto comum quando consideram que a educação deve ser um processo individualizado. Todavia, Piaget enfatiza o processo e não os desempenhos finais. O caminho para o desenvolvimento é resultado de estruturas e reestruturas progressivas, que ocorrem da ação do sujeito sobre o meio e vice-versa (ações recíprocas) [60].

Ao processo de construção do conhecimento através do desenvolvimento intelectual segundo Piaget, denominou-se *Construtivismo*. Segundo Lorraine [110], pode-se ver o Construtivismo mais como uma filosofia do que uma estratégia. Em geral, é rejeitada a idéia de que uma estratégia particular instrucional é inerentemente Construtivista. Para Lorraine [110], o Construtivismo não é uma estratégia instrucional a ser empregada sob determinadas condições. Ao contrário, é uma filosofia ou maneira de ver o mundo.

Ao se adotar a filosofia construtivista pretende-se que:

- as representações mentais tenham um “status” ontológico real;
- a natureza do conhecimento (individualmente construído) encontre-se dentro da mente e não fora dela;
- a natureza da interação humana seja cooperativa;

Os construtivistas evitam a formulação de modelos para o processo de ensino-aprendizado. Os modelos construtivistas não são sistemas construídos. Assim suas teorias se caracterizam por serem mais parciais e por implementarem tentativas, procurando conectar o conhecimento com a prática, de acordo com o contexto.

Esta filosofia pode ser capaz de auxiliar na adaptação de modelos tradicionais e estratégias instrucionais para projetar sistemas de ensino. Embora a tecnologia seja uma parte integrante da informática educativa, qualquer programa que pretenda êxito tem que focar as necessidades instrutivas dos estudantes, em lugar da própria tecnologia. Assim, é essencial considerar os fatores culturais e socio-econômicos, interesses e experiências, níveis educacionais e familiaridade com as ferramentas de Ensino utilizadas.

Em geral, o Construtivismo tende a ser mais holístico e menos mecanicista que as teorias tradicionais de processamento das informações. As pessoas tem percepção de seu mundo retirando a informação do ambiente e assimilando-as em seus esquemas pré-existentes e entendimentos conforme Brent [24].

Em contraste com o *reducionismo* da IA, o qual separa os componentes cognitivos em diferentes domínios, a abordagem Piagetiana enfatiza ambos, um *holismo* considerando os domínios e os objetos.

Akharas [1] discute em seu trabalho as perspectivas do Construtivismo na modelagem de sistemas inteligentes. Um exemplo interessante dado neste trabalho

relaciona-se com a aprendizagem de uma linguagem de programação. Segundo Akharas embora a sintaxe de uma linguagem de programação possa ser definida objetivamente, conhecer esta linguagem, de acordo com o Construtivismo, é transformar, interpretar e desenvolver um mundo experimental através do uso desta linguagem. Maiores informações sobre a Inteligência Artificial Construtivista também podem ser obtidos em Drescher [38], Brent [24], Ramos [100] e Wazlawick [126].

Brent [24], também acredita que no projeto de sistemas educacionais o Construtivismo é mais uma filosofia do que uma estratégia pois depende das condições apropriadas, que incluem:

- natureza da realidade;
- natureza do conhecimento;
- natureza da interação humana com o computador;
- natureza da ciência.

Segundo Brent [24] *...quando o mundo é visto em termos construtivistas, podemos desenvolver nossas tarefas de diferentes maneiras, mas estas diferenças não podem ser reduzidas a um conjunto discreto de regras ou técnicas...*

### 3.6 Os Sistemas Especialistas no Ensino com computador

Nos anos 60, os pesquisadores de IA, perceberam que para se ter algo de uso prático dever-se-ia limitar bastante o campo de aplicação do programa IA, o qual deveria ter o conhecimento correspondente a um especialista humano e pudesse imitá-lo em seu domínio de trabalho, daí nasceu a mais importante aplicação da IA - os Sistemas Especialistas (SE) [17].

Existe uma estreita relação entre os SE e o ensino com computador. Ao longo dos anos muitos SE têm sido aplicados nos mais diversos campos para ensino e treinamento. O programa GUIDON, citado anteriormente, é um exemplo clássico, adaptado à base de conhecimentos do SE MYCIN (terapia anti-microbiana) para tutoria de diagnóstico médico. Maiores detalhes podem ser obtidos em Clancey [31]

A utilização de SE didáticos permite aos usuários a familiarização com situações simples, hipotéticas. Isto parece ser interessante na tomada de decisões quando surgirem situações reais. Atualmente, os SE são definidos independentemente da estrutura de implementação. Eles podem ser implementados através de:

- IAS - Inteligência Artificial Simbólica (com manipulação simbólica) onde tem-se a separação entre motor de inferência e a base de conhecimento. Geralmente, deve ser usada quando o problema é bem definido, a fim de que se tenha uma boa idéia de como ele seria resolvido e que seja explícito o modo de achar a solução [17].
- IAC - Inteligência Artificial Conexionista - a implementação é feita com o paradigma de RNA com as topologias que se desejar, conforme Gallant [53].

Uma primeira maneira de representar o conhecimento nos SE é a utilização de regras do tipo:

*se condição então ação ou conclusão.*

Deve-se notar que a ação é uma ordem e a conclusão é uma prova. Quando se coloca uma regra dentro de uma base de conhecimento, por exemplo:

$$A \Rightarrow B$$

Supõe-se que esta regra é verdade, pois dentro de uma base de conhecimento numa fórmula lógica não se tem valores tipo verdade e falso. Dentro de uma base de conhecimento pode-se ter várias regras.

Além desta representação pode-se construir outras representações para um problema. Muitas representações utilizam redes semânticas (relações e conceitos) num gráfico semântico ou os “frames” cuja idéia é colocar uma estrutura complexa que define toda uma situação de um determinado domínio.

Alguns SE utilizam modelos de representação do conhecimento com um *Sistema de Produção* (SP). Um SP, segundo Russel [106], pode ser definido como uma tupla:

$$SP = \langle R, E, e_0, F \rangle$$

onde  $R$  é um conjunto de regras,  $E$  é um conjunto de estados,  $e_0$  é o estado inicial e  $F$  é o conjunto de estados finais.

As regras são constituídas de um lado esquerdo (um padrão) que determina a que estados a regra pode ser aplicada, e um lado direito, que descreve a transformação a ser aplicada aos estados que se encaixam no padrão, originando novos estados. São estruturas do tipo:

*se <condição>  
então <ação>*

onde:

<condição> estabelece um teste cujo resultado depende do estado atual da base de conhecimento. Tipicamente o teste verifica a presença ou não de certas informações na base.

<ação> altera o estado atual da base de conhecimento, adicionando, modificando ou removendo unidades de conhecimento presentes na base.

A base de conhecimentos geralmente é constituída de inúmeras regras utilizando os operadores lógicos E, OU ou NÃO. Os SE didáticos podem ser implementados usando qualquer uma das formas anteriores. Uma grande qualidade dos SE é serem auto-explicativos e uma ajuda sensível ao contexto permite uma melhoria na qualidade do programa.

## 3.7 Abordagem Conexionista

### 3.7.1 Redes Neurais e Aprendizado de Máquina

As origens das RNA remontam no desejo de construir artefatos capazes de exibir comportamento inteligente, ou seja, na IA.

As RNA têm sua inspiração biológica originada de um neurônio típico, formado basicamente por dendritos, o corpo celular e os axônios, que junto com outros neurônios podem ter várias combinações com as mais variadas topologias. A idéia básica é sumarizada na abordagem *Reduccionista*, reproduzindo-se com suficiente detalhe a suposta “máquina” biológica responsável pelo comportamento inteligente, ou seja, o cérebro, um comportamento inteligente emergirá do sistema [17].

Conforme mencionado anteriormente, os primeiros trabalhos nessa área iniciaram-se na década de 40 com a Cibernética [127], [109], [59]. A Figura 3.5 ilustra um esquema simplificado de um neurônio biológico típico:



Figura 3.5: Esquema simplificado de um neurônio biológico

Para a compreensão do funcionamento das RNA torna-se necessário entender o mecanismo de atuação de sua mais forte inspiração, as células neurais naturais.

A célula neural natural é composta basicamente de água, eletrólitos, proteínas, lipídios e carboidratos. Sua configuração típica é dividida em duas partes: núcleo e citoplasma. Dividindo o meio intracelular do meio extracelular existe a membrana citoplasmática. A membrana citoplasmática de uma célula nervosa permite o transporte de eletrólitos que modificam o potencial elétrico entre as partes externas e internas da célula. Esta diferença de potencial provoca um trem de pulsos de frequência gerado pela célula nervosa, isto é, do neurônio, através do axônio para os dendritos que se ligam a outras células, ante um estímulo de amplitude e duração definida, onde é codificada a informação e que, posteriormente, é decodificada pelos dendritos [58].

No interior da membrana há uma alta concentração de moléculas específicas de neurotransmissores. Quando a membrana é despolarizada, isto é, quando o potencial do citoplasma torna-se maior que o potencial de repouso, os canais da membrana permitem íons, como o cálcio, fluir para dentro da célula. Estes ativarão a liberação dos neurotransmissores, tal como a acetilcolina, constituindo-se assim a *sinapse*, que é a ligação entre a terminação axônica e os dendritos e que permite a propagação dos impulsos nervosos de uma célula a outra. As sinapses podem ser excitatórias ou inibitórias. As sinapses excitatórias, cujos neuroexcitadores são os íons sódio, permitem a passagem da informação entre os neurônios e as sinapses inibitórias, cujos neurobloqueadores são os íons potássio, bloqueiam a atividade da célula, impedindo ou dificultando a passagem da informação. Maiores informações sobre as células neuronais podem ser obtidas em Arbib [13], Guyton [57], [58] e Moffet [81].

### 3.7.2 Características das RNA

As RNA, não são programadas, elas aprendem através de exemplos. Tipicamente é apresentado a uma rede neural um conjunto de treinamento que consiste de um grupo de exemplos com o quais a rede pode aprender. Estes exemplos, conhecidos como padrões de treinamento, são representados como vetores e são originados de fontes tais como imagens, sinais de voz, dados de sensores, movimentos de braços de robôs, dados financeiros e informações de diagnóstico. Devido a este aprendizado por exemplo, elas possuem um grande potencial para construção de sistemas computacionais que não necessitam ser programados. Isto é uma grande vantagem em relação aos sistemas computacionais tradicionais.

As características gerais das RNA podem ser sumarizadas como a seguir:

- São modelos adaptativos, treináveis;

- São capazes de generalização diante de informação incompleta;
- São não lineares e podem representar domínios complexos;
- São modelos robustos, insensíveis à falhas;
- Possuem grande paralelismo, o que lhe conferem rapidez de processamento.

As redes neurais são paradigmas importantes para máquinas cognitivas (máquinas com potencial de aquisição de conhecimentos). Elas fazem uma representação distribuída da informação, na forma de conexões entre um grande número de elementos simples (neurônios artificiais). Todos esses elementos realizam operacionalmente a mesma função que é executar a soma ponderada de suas entradas e executar uma transformação não linear entre a entrada e a saída do sistema.

Assim as RNA são modelos matemáticos dos neurônios e suas interconexões em redes permitem a representação do processamento da informação dos neurônios biológicos. Estes modelos matemáticos computacionais, todavia, estão muito longe da realidade biológica...

A grande premissa do conexionismo para aplicações em processamento de informações e/ou IA é o fato de que se pode analisar um problema do ponto de vista de como o cérebro humano realiza os procedimentos de processamento da informação, ativando uma série de neurônios biológicos, que interagem numa rede biológica através da intercomunicação dos níveis de ativação de cada elemento constituinte [17].

O sistema é treinável com informação incompleta e difusa sendo capaz de generalização e associação, tarefas consideradas até há pouco tempo, puramente humanas. Sendo assim pode-se dizer que o paradigma das RNA é uma técnica aplicada a IA para representar processos cognitivos.

### 3.7.3 O neurônio artificial

O primeiro modelo matemático do neurônio foi proposto por McCulloch & Pitts [77] em 1943. Era um dispositivo binário usando entradas binárias, saídas binárias e uma função de ativação. Em geral, um modelo de neurônio artificial é baseado nos seguintes parâmetros conforme mostra a Figura 3.6 encontrada em Kasabov [67].

- *Conexões de entradas* (ou entradas):

$$x_1, x_2, \dots, x_n$$

Existem pesos associados a estas conexões de entrada:

$$w_1, w_2, \dots, w_n$$

Uma entrada denominada “bias”, que usualmente tem valor constante 1 e é representada em uma entrada  $x_0$ .

- *Função de entrada  $f$* , que calcula o sinal de entrada (“net”) agregado

$$u = f(\mathbf{x}, \mathbf{w})$$

onde  $\mathbf{x}$  e  $\mathbf{w}$  são vetores da entrada e de pesos, respectivamente.

$f$  é geralmente a função ponderada:

$$u = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i$$

- Uma *função (ou sinal) de ativação  $s$*  que calcula o nível de ativação  $a$  do neurônio. Portanto,  $a = s(u)$ .
- Uma *função de saída  $g$*  que calcula o valor do sinal de saída  $o$  emitido através da saída (axônio) do neurônio ou seja,  $o = g(a)$ . O sinal de saída é geralmente suposto ser igual ao nível de ativação do neurônio, isto é,  $o = a$ .

Em outras palavras, neste modelo, o corpo faz a soma ponderada do produto dos pesos da entrada e uma função de transferência é aplicada sobre a função de ativação para gerar a saída. Os pesos são a intensidade da força sináptica, e podem ser fixos ou treináveis, implementando as ligações entre as unidades e a intensidade com que o sinal é transmitido de um neurônio ao outro.

Existem diferentes tipos de funções de ativação comumente utilizadas, dentre elas destacam-se as funções logística, tangente hiperbólica e em degrau [67]. O neurônio pode ser modelado estaticamente, dinamicamente, linearmente, a tempo discreto e a tempo contínuo [17], [34] e [67].

A Figura 3.7 mostra o esquema simplificado de uma rede neural direta típica de três camadas onde se tem uma camada de entrada, uma camada oculta e uma camada de saída, cujos pesos são reajustados de acordo com algum algoritmo de aprendizado (por exemplo, o algoritmo de retropropagação ou “Backpropagation”). Nota-se que esta não é uma estrutura geral de uma RNA pois podem haver diferentes topologias. Algumas têm todos os neurônios interconectados, outras não possuem camada escondida ou ainda existe aquelas nas quais as camadas estão arranjadas em uma matriz. Maiores informações sobre as RNA e seus modelos podem ser obtidas

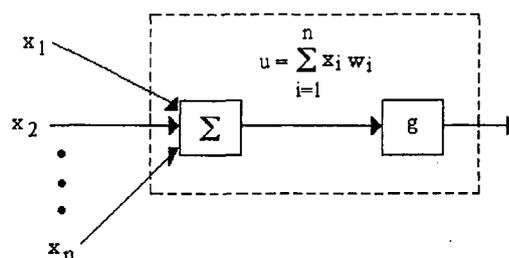


Figura 3.6: Modelo de Neurônio Artificial conforme Kasabov [67]

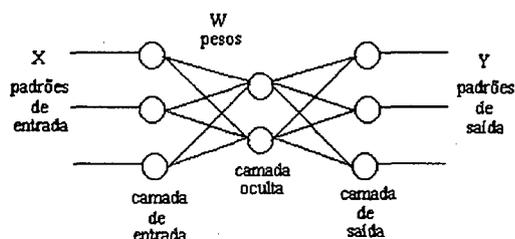


Figura 3.7: Esquema de uma Rede Neural Típica

em Barreto [18], [121], [17], Dayhoff [34], Freeman [48], Golden [55], Kasabov [67] e Kröse [70].

As conexões entre os neurônios biológicos são adaptativas, isto significa que a estrutura de conexão muda dinamicamente. A maioria dos trabalhos sobre RNA consideram o neurônio estático. Um modelo matemático mais próximo do modelo biológico pode ser encontrado em Barreto [17]

Existem outras abordagens de IA tais como a Computação Evolucionária (Programação Evolucionária, Algoritmos Genéticos e Estratégias Evolucionárias) mas fogem ao escopo deste trabalho. Para maiores informações aconselha-se a leitura de Barreto [17], Fogel [45], [46] e Holland [61].

### 3.8 Aprendizado das redes neurais

Um neurônio é considerado ser um elemento adaptativo. Seus pesos sinápticos são modificáveis dependendo do algoritmo de aprendizado. Existem vários tipos de algoritmos de aprendizado de redes neurais e muitos estudos tem sido feitos. O algoritmo de aprendizado, em si, seria a maneira de se fazer as redes aprenderem.

Por exemplo, alguns, dependendo do sinal de entrada que recebem, tem seus valores de saída associados a uma resposta diante de um aprendizado supervisionado

por uma espécie de “professor” - denominado aprendizado supervisionado. Em alguns casos o sinal do “professor” não está disponível e não há informação de erro que possa ser utilizada para correção dos pesos sinápticos, assim o neurônio modificará seus pesos baseado somente no sinal de entrada e/ou saída, sendo este o caso do aprendizado não-supervisionado.

### 3.8.1 Aprendizado Supervisionado

Neste caso, o “professor” indica explicitamente um comportamento bom ou ruim. Por exemplo, seja o caso de reconhecimento de caracteres e para simplificar seja reconhecer entre a letra A e a letra X.

Escolhe-se uma rede direta, com dois neurônios na camada de saída, uma ou várias camadas internas e um conjunto de neurônios na camada de entrada capaz de representar com a precisão desejada a letra em questão.

Apresentam-se estas letras sucessivamente a uma retina artificial constituída de uma matriz de elementos foto-sensíveis, cada um ligado a um neurônio da rede neural artificial direta.

Observa-se qual dos dois neurônios de saída está mais excitado. Se for o que se convencionou representar a letra que for apresentada nada deve ser corrigido, caso contrário modifica-se os valores das conexões sinápticas no sentido de fazer a saída se aproximar da desejada.

Foi exatamente isto que Rosenblatt [104] fez com o seu Perceptron. Como a cada exemplo apresentado uma correção é introduzida depois de observar a saída da rede, trata-se de um caso de aprendizado supervisionado.

#### **Exemplo 3.8.1** *Redes multi-camadas com treinamento de Retropropagação.*

*São redes multi-camadas com cada camada completamente conectada, anterior e posteriormente. São treinadas por aprendizado supervisionado utilizando o algoritmo de retropropagação.*

O primeiro conceito de retropropagação foi introduzido na década de 70 mas foi apresentada por Rumelhart e McClelland em 1986 [34]. Este é o tipo de rede mais simples e popular. Esta rede aprende e atualiza, se oferece uma resposta errada, seus pesos são corrigidos e o erro é diminuído até que os resultados das respostas sejam os mais parecidos com os da saída desejada.

Quando é apresentada uma entrada à rede, a atualização dos valores de ativação propagam-se das unidades de processamento das camadas de entrada, através de cada camada interna, para as unidades de processamento das camadas de saída.

As unidades de saída dão a resposta da rede. Assim quando a rede corrige seus parâmetros internos, o mecanismo de correção começa com as unidades de saída e

propaga-se para trás através de cada camada interna para a camada de entrada, portanto o termo “back-error propagation ou backpropagation” [34].

O Perceptron foi o predecessor das redes multi-camadas com treinamento de retropropagação mas era limitado por ter somente duas camadas de processamento com somente uma camada de pesos adaptáveis. A rede multi-camadas ultrapassou a limitação do Perceptron porque pode adaptar duas ou mais camadas de pesos e usa regras de aprendizado mais sofisticadas, resolvendo assim problemas mais complexos.

O poder da rede multi-camada com retropropagação está na habilidade de encandear camadas escondidas, isto é, quando duas ou mais camadas de pesos são ajustadas, a rede tem camadas no meio - ocultas - e cada camada oculta age como uma camada detectora de característica, que responde a características específicas do padrão de entrada.

Sendo assim, conhecendo as características do padrão, a rede multi-camada com algoritmo de retropropagação pode identificar características efetivas automaticamente [34].

### 3.8.2 Aprendizado Não Supervisionado

É aquele que para fazer modificações nos valores das conexões sinápticas, não usa as informações sobre a resposta da rede, isto é, se a resposta está correta ou não. Usa-se por outro lado um esquema, tal que, para exemplos de coisas semelhantes, a rede responda de modo semelhante.

#### Exemplo 3.8.2 Rede de Kohonen.

*A rede de Kohonen é uma estrutura de duas camadas. A primeira camada é a de entrada e a segunda camada - denominada competitiva - é organizada em uma grade bi-dimensional ou em um arranjo dependente do objeto a ser mapeado [34].*

As duas camadas são completamente interconectadas, assim quando padrões de aprendizado são apresentados à rede, os pesos das unidades são adaptados de maneira a preservar a topologia do objeto. A Figura 3.8 a seguir ilustra esta estrutura básica onde é mapeado o caracter “C”:

Teuvo Kohonen [34] introduziu o conceito de mapas topológicos de características auto-organizativas no qual a característica do objeto a ser mapeado é preservado.

A vantagem do uso da Rede de Kohonen é devido à sua tolerância em lidar com ruídos, dados incompletos e contraditórios, extraindo e reconhecendo padrões e características intrínsecas ao objeto reconhecido.

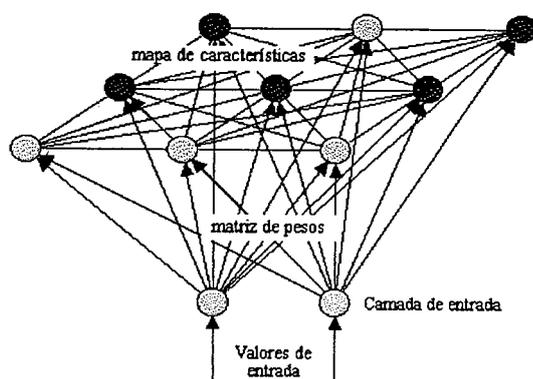


Figura 3.8: Exemplo de Rede de Kohonen

## Capítulo 4

# Ensino x WWW: considerações no projeto

*“What is mind? No matter.  
What is matter? Never mind ... ”*  
HOMER SIMPSON

Este capítulo faz uma análise dos requisitos para a criação de um ambiente experimental de Ensino-aprendizagem, usando as redes de computadores (Internet), como instrumento de apoio educacional.

### 4.1 A Internet

A rede de computadores mundial, Internet, possui um conjunto de documentos denominados “World Wide Web” (WWW), ou simplesmente *Web*. Um documento Web pode conter animações, sons, vídeos e simulações interativas.

Estes documentos hipermídia (hipertexto e seus derivados multimídia) geralmente são construídos usando a “hypertext markup language” (HTML) que é um subconjunto da “Standard Graphics Markup Language” (SGML). O acesso a Web é permitido através do uso de um programa navegador (“web browser”) na Internet.

Implementações mais sofisticadas podem utilizar a interação de multi-usuários e Realidade Virtual (RV) utilizando a “virtual reality markup language” (VRML) [36] (vide endereços contendo informações sobre RV e Ensino no apêndice A). A RV pode ser vista como um campo da simulação pois cria mundos virtuais onde são feitas experimentações e também como uma técnica de computação gráfica.

Como um campo da simulação, a RV pode ser utilizada quando os experimentos

no mundo real são perigosos, impossíveis, inconvenientes e dispendiosos. Chou [30] observa que a aplicação da RV no ensino da Engenharia Civil reduz as dificuldades da análise estrutural quando os alunos simulam falhas em estruturas, o que é impossível no mundo real. O trabalho de Pantelidis [93] discute as razões para uso da RV no Ensino de Engenharia.

A RV surgiu como uma tecnologia avançada de interface, enfatizando características como utilização de dispositivos multi-sensoriais, navegação em espaços tridimensionais, imersão no contexto da aplicação e interação em tempo real. Isto despertou grande interesse dos pesquisadores e usuários e uma resposta rápida de empresas, que estão viabilizando rapidamente esta tecnologia, através da oferta crescente de produtos de "hardware" e "software".

Várias tecnologias são utilizadas para a criação de ambientes Web usando recursos multimídia na Web para os propósitos educacionais. Nestes sistemas, pode-se obter um alto grau de interatividade com a manipulação direta dos conceitos através de uma grande base de dados de materiais de ensino hipermídia. Vetter [123] apresenta algumas diretrizes para criação destes ambientes.

Um estudante que usa um programa educacional em um mundo eletrônico virtual híbrido tem dois diferentes espaços de navegação :

- a navegação no espaço da interface do "software";
- a navegação no domínio do conteúdo.

No desenvolvimento de um ambiente de Ensino via rede, além da interface com o estudante, os aspectos psico-pedagógicos deverão ser considerados para que possam ser inseridos convenientemente no ambiente, pois acredita-se que isto poderá tornar o aprendizado mais eficaz. A utilização da IA distribuída e o paradigma de agentes [111] apontam como uma perspectiva interessante de ensino via rede de computadores. Wang [124] apresenta uma taxonomia de agentes inteligentes que são uma combinação de agentes de "software" e sistemas inteligentes que devem possuir as seguintes propriedades:

- autonomia - os agentes devem operar sem a intervenção humana;
- cooperatividade - agentes devem cooperar com outros agentes;
- reatividade - os agentes devem perceber e responder às mudanças temporais no ambiente;
- pró-atividade - os agentes não agem simplesmente em resposta ao seu ambiente mas devem tomar iniciativas;

- mobilidade - os agentes devem ser capazes de moverem-se através das redes de computadores. Um agente em um computador deverá ser capaz de criar um agente em outro computador para execução. Os agentes podem ser transportados durante a execução e acumular conhecimentos e dados com eles.

Estes agentes têm sido implementados em Java para automatização de tarefas na Internet. Kiniry [68] apresenta uma coletânea sobre as principais aplicações e os endereços de várias empresas comerciais que estão desenvolvendo pesquisas nesta área. Um exemplo destas empresas é a IBM que desenvolveu os “aglets” misto de “agent” com “applet” Java [63].

## 4.2 Ambientes de Ensino-aprendizagem

Os tradicionais sistemas CAL (“Computer-Aided Learning”) com roteiros programados em uma linguagem qualquer trabalhavam com a instrução programada e falharam segundo os princípios educacionais. Com a Psicologia da aprendizagem, a ênfase moveu-se para estudo da aquisição do conhecimento e como se pode produzi-lo para auxiliar o ensino.

Dentro da modelagem do estudante as pesquisas se direcionaram para o aprendizado exploratório e a descoberta do conhecimento - Construtivismo.

No modelo pedagógico (centrado no estudante) a tarefa é bastante complexa. Este modelo deverá conter o conhecimento necessário para tomar decisões sobre quais táticas de ensino deve empregar dentre aquelas disponíveis no sistema.

As decisões e ações deste modelo são altamente dependentes dos resultados do processo de diagnóstico. Isto é o modelo pedagógico diagnostica as necessidades de aprendizagem do estudante com base nas informações de um modelo do estudante e na solução do professor contida em um modelo do especialista. Em geral, as decisões são sobre qual informação apresentar ao estudante, quando e como apresentá-la. Já as representações explícitas do conhecimento pedagógico proporcionam o potencial necessário para que o sistema consiga adaptar e melhorar suas estratégias e, também, para seus componentes poderem ser reutilizados em outros domínios.

A adaptação da instrução implica em uma boa escolha didática, que pode ser global ou local. Escolhas no nível global determinam a seqüência dos episódios educacionais e, por exemplo, decisões sobre a freqüência de repetições a serem utilizadas. Escolhas no nível local, envolvem decisões sobre quando uma intervenção é necessária, se o estudante deve ou não ser interrompido em sua atividade, e o que pode e deve ser feito ou apresentado em algum determinado momento. Isto inclui orientação no desempenho das atividades, explicações dos fenômenos e processos,

e decisões sobre quais informações serão oferecidas para reparar as deficiências dos estudantes.

Com relação aos sistemas tutoriais, enquanto o modelo pedagógico decide o momento e o conteúdo das ações didáticas, o modelo de interface cuida de sua forma final. É responsável pelo fluxo de comunicação de entrada e saída, proporcionando a comunicação em ambas as direções e realizando a tradução entre a representação interna do sistema e a linguagem de interface de maneira compreensível ao estudante.

Segundo Brofferio [25] definir, projetar e implementar um sistema de ensino envolve a resolução de três níveis de problemas inter-conectados: o nível tecnológico, o nível humano e organizacional e o nível econômico e legal.

Neste caso, o hipertexto representou um grande passo no desenvolvimento dos computadores na educação. Inicialmente, o hipertexto não foi visto como um veículo adequado aos processos de Ensino-aprendizagem. Mas o poder de acesso a informação oferecido por tais sistemas favoreceu o projeto de ambientes de aprendizagem reativos e interativos, segundo Mayes [75].

Estes modelos procuravam sanar as dificuldades do diálogo dos sistemas com os estudantes. A hipermídia promoveu flexibilidade e um controle completo por parte do estudante. Com a Internet e a utilização da linguagem HTML este potencial aumentou.

### 4.3 Ambiente Exploratório Construtivista

Na preparação de ambientes de aprendizagem, estes devem ser exploratórios, preverem dificuldades que os estudantes podem ter ao testar seus conhecimentos ou habilidades na resolução de problemas.

De maneira a facilitar a aprendizagem e despertar a criatividade deve-se preparar materiais adequados e avançados dentro do contexto, sinalizando como o estudante pode interpretar e integrar novas informações a partir de seus conhecimentos existentes e metas de aprendizagem. A base teórica dos modelos de instrução afetam não só a forma como a informação é comunicada ao aluno, mas também na forma como o aluno entende e constrói um novo conhecimento à partir das informações apresentadas. Assim, as tarefas devem ser estruturadas dentro de um protocolo que procure engajar os estudantes.

O ambiente exploratório está de acordo com o paradigma “Construtivista” de Jean Piaget [97]. A contribuição das simulações nestes sistemas se torna então evidente. Elas podem ajudar os estudantes a observar os efeitos dos eventos, desde que elas ofereçam uma expressão visual dinâmica da temporalidade de conceitos. Em outro nível, as simulações permitem aos estudantes manipular objetos e então

experimentar as conseqüências das decisões que eles possam tomar. Dependendo do domínio, estes dados podem ser utilizados para monitorar este processo.

Pilkington [98] argumenta que ambientes de aprendizagem baseados em simulações oferecem um ambiente exploratório no qual os estudantes podem testar com segurança seu conhecimento e habilitá-los na resolução de problemas. Entretanto, em domínios muito complexos os estudantes podem ter dificuldades em ter uma visão geral dos conceitos do sistema modelado.

Segundo Deden [35] o projeto instrucional envolve a preparação, projeto e produção de materiais de ensino mas geralmente, o processo do projeto instrucional resulta em diversos componentes-chave, que incluem:

- metas e objetivos de ensino;
- métodos e instrumentos para o progresso da aprendizagem;
- conteúdo ou informação necessária para alcançar os objetivos do ensino; mensagens a serem apresentadas;
- interações entre atividades estudantis e interações.

Atualmente, existem duas abordagens que influenciam projetos instrucionais:

- processamento de símbolos (“symbol-processing”);
- conhecimento localizado (“situated cognition”).

O processamento de símbolos é baseado no conceito de um computador executando operações formais em símbolos. O conhecimento localizado é baseado no princípio do Construtivismo, no qual o aluno ativamente constrói uma representação interna do conhecimento através de interação com o material a ser aprendido.

#### 4.4 Ferramentas, tarefas e diálogo

Segundo Pilkington [98] o desenvolvimento de ambiente computacional para apoio educacional envolve no mínimo três formas: ferramentas, tarefas e diálogo.

Em primeiro lugar, deve-se ter acesso a um ambiente satisfatório contendo ferramentas ou recursos necessários para adquirir ou entender os conceitos do domínio. Em segundo lugar, a interação ativa e dinâmica oferecida pelas tarefas permitem aos estudantes desenvolver perícias práticas. E, em terceiro lugar, o diálogo da interação com o tutor ajuda o estudante a expor as inconsistências do processo de aprendizagem.

Os trabalhos de Vavassori [122] [44] apresentam uma estrutura destas ferramentas utilizando a abordagem de agentes de “software” para produção de um curso via Web. O apêndice A mostra alguns endereços relacionados à concepção de ambientes de Ensino na Web e a abordagem de agentes.

As ferramentas geralmente utilizadas na concepção destes cursos via rede, são:

- Ferramentas de Configuração do Curso (FCC);
- Ferramentas de Apoio ao Aluno (FCA);
- Ferramentas de Suporte a Administração (FSA);

As tarefas devem ser designadas para incorporar situações as quais levem os estudantes a um conflito cognitivo e a resolver tais conflitos com capacidades de raciocínio no domínio de desenvolvimento. Em um ambiente de aprendizagem deve ser observado como os estudantes focalizam sua atenção na construção de seu conhecimento de maneira a nutrir a aprendizagem intencional. O aluno então desenvolve sua própria representação e a utiliza para construir novo conhecimento, num contexto baseado em seu conhecimento anterior e suas habilidades.

Todavia, os estudantes podem encontrar dificuldades na aprendizagem. Por exemplo, pode haver uma tendência dos estudantes em se concentrar na manipulação de conceitos sem entender seus princípios fundamentais, segundo Twigger [117]. Deve-se evitar tarefas que possam ser executadas sem demanda cognitiva. Por outro lado, as tarefas exigentes, que conduzem o estudante a uma alta demanda cognitiva, podem ser conflitantes com o que Piaget [97] afirma sobre crescimento intelectual.

Em outras palavras, os estudantes necessitam experimentar inconsistência e contradição para fazer mudanças significantes no seu modo de interpretar o mundo. Isto implica em que as tarefas devam ser estruturadas ou justapostas para conduzir o estudante a situações onde seu conhecimento atual ou protocolo de resolução de problemas é insuficiente. Todavia, o estudante deve não somente reconhecer a inconsistência ou contradição mas ser capaz de raciocinar para resolver tal conflito.

Neste ponto, a interação pode ser importante porque promove o diálogo e a criatividade [92], [108]. Portanto, o professor deve designar não somente tarefas que levem o estudante ao conflito cognitivo, mas também trazer tal conflito à atenção dos estudantes, ajudando-os a reconhecer o que é necessário para a mudança. O professor pode fazer isto questionando e oferecendo interpretações alternativas. A interação ativa e dinâmica é fator determinante para permitir aos estudantes desenvolverem perícias práticas e se tornarem atentos às inconsistências do conhecimento adquirido [43].

O principal é que as tarefas devem ser construídas de forma a estimular o diálogo e a auto-crítica. A construção do próprio conhecimento é uma atividade social e não somente uma atividade individual. Como produzir situações criativas que permitem a aquisição de novas idéias?

O diálogo entre os participantes é um importante componente do ambiente de aprendizagem. O diálogo é ponto de referência central do pensamento de Paulo Freire [49], pois através dele, acredita-se ser possível que seres humanos se transformem em “seres comunicativos”, podendo “atuar para transformar a realidade”.

Nesta mesma linha, o professor poderia apoiar a aprendizagem de três maneiras: melhorando o ambiente oferecendo ao estudante ferramentas melhores, designar tarefas que visem aumentar a qualidade das interações com tais recursos e poderia engajar o estudante em um diálogo que incita o compromisso ativo e reflexivo na compreensão das tarefas. Tal reflexão leva os estudantes a preencher lacunas na sua compreensão, ajudando a provocar mudanças conceituais. As combinações adequadas destes tipos de apoio podem melhorar a aprendizagem e a resolução de problemas.

As formas corretas de comunicação são importantes para promoção do diálogo. A comunicação humana é entendida como uma troca de informação que modifica o estado de conhecimento dos parceiros comunicantes, neste sentido, são criados ambientes de comunicação que permitem esta troca de informações. A comunicação educacional especificamente consiste de conteúdos e relações das pessoas participantes no processo educacional.

Segundo Paulo Freire [49] “... *O diálogo pertence à natureza do ser humano, enquanto ser de comunicação. O diálogo sela o ato de aprender, que nunca é individual, embora tenha uma dimensão individual...*”.

Para ressaltar sua importância, principalmente nos processos educacionais, segue-se uma breve descrição da evolução da comunicação humana.

A comunicação humana iniciou-se com o homem primitivo através dos sinais. Com o surgimento da comunicação oral e escrita, as sociedades foram evoluindo transmitindo conhecimentos e informação.

No ano 2.400 a.C. já existia a profissão de mensageiro no Egito. Assim, pode-se dizer que o correio surgiu nesta época. O jornal impresso surgiu somente depois que houve a convergência de fatores históricos como o advento do papel, da tipografia e do correio. A partir do século XVI, os tipógrafos começaram a fazer espécies de gazetas que chamavam de relações. Com o tempo, também começaram a ser vendidas mais facilmente. Isso levou a uma maior tiragem e diversidade de matérias. Dessa forma surgiram os jornais impressos [33].

Claude Chappe construiu o primeiro telégrafo mecânico em 1790. Em 1825, com o surgimento do solenóide, a telegrafia teve um grande impulso e em 1884 foi

criado o código Morse. Até o final do século XIX todos os continentes foram ligados telegraficamente [33].

George Claude [32] descreve aplicações da eletricidade (telégrafo e telefonia simultânea) antes de 1883. Neste livro, pode-se encontrar uma espécie de precursor do “Telex”, em 1893. Trata-se do “Téleautographe Ritchie” que usava a reprodução dos movimentos de uma pena à distância.

A chegada do telefone ao Brasil foi quase imediata em relação à sua invenção. Já em 1877 foram instalados aparelhos no Rio de Janeiro. Apesar da reprodução de sons complexos, como a voz humana e música, serem possíveis de ser transmitidos desde o final do século passado, o advento do rádio ocorreu somente a partir da segunda década do século XX.

O cinema surgiu ao final do século passado, e pode-se destacar também a importância do teatro, da pintura, das revistas e dos livros. Mas uma revolução dos meios de comunicação ocorreu foi com o advento da televisão.

A televisão foi patenteada em 1928, mas seu uso comercial iniciou em 1946. Chegou ao Brasil em 1950 e sua primeira transmissão colorida, em escala restrita, coincidiu com os jogos de futebol das finais da Copa do Mundo, no México. Porém a inauguração oficial do sistema a cores ocorreu em 10 de fevereiro de 1972, com a transmissão da Festa da Uva em Caxias do Sul (RS) [33].

Já os computadores, que surgiram na década de 40, eram sistemas centralizados locais. Somente no final dos anos 60 foram conectados em rede. Os sistemas multimídia surgiram no início dos anos 80 permitindo a edição digital com efeitos de áudio e vídeo.

No início dos anos 90, ocorre a “explosão digital” com a popularização da Internet conectando todo o mundo. Maiores informações sobre os projetos pioneiros em redes de computadores podem ser encontradas em Tanenbaum [114].

Além das citadas, surgem a cada dia outras formas e meios de comunicação como a telefonia digital via satélite, TV a cabo, Internet a cabo, painéis eletrônicos, “pagers”, entre outros, que promovem o alcance das informações a nível mundial.

A Internet culmina todas as formas preliminares de comunicação e aumenta as possibilidades do armazenamento de informações e transmissão de conhecimentos. Por que não usá-la adequadamente para o Ensino?

A Figura 4.1 resume a evolução dos principais meios de comunicação humana, aqui descrita.

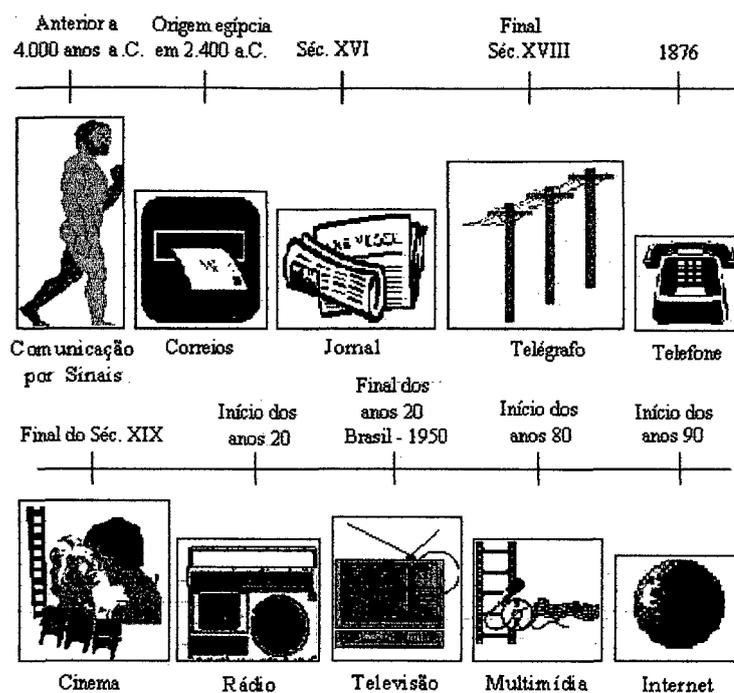


Figura 4.1: Evolução da comunicação - modificada de Vavassori [122]

## 4.5 Ambientes Distribuídos

Partindo-se da hipótese de que através da comunicação mediada por computador o estudante pode construir conhecimento, surgiram diversas formas de uso das redes de computadores na aprendizagem.

A tecnologia de rede de computadores possibilitou a formação continuada de adultos - a aprendizagem cooperativa em ambientes distribuídos<sup>1</sup>. As redes liberam a aprendizagem das restrições espaciais e temporais. As diferentes interações que um indivíduo necessita vivenciar para que ocorra a aprendizagem - interação social (virtual), interação com o objeto da aprendizagem, interação com o conhecimento estruturado e "interação" consigo mesmo - podem ocorrer em qualquer lugar e a qualquer momento que o aprendiz se conecte na rede.

A aprendizagem cooperativa em ambientes distribuídos é referida na literatura como "CSCL - Computer Supported Cooperative Learning". No contexto da aprendizagem cooperativa, o ambiente deve apoiar atividades que propiciem o aprendiz modificar seu conhecimento. As ferramentas de suporte às transformações cognitivas devem facilitar a representação e a manipulação do objeto de estudo, assim

<sup>1</sup>A Revista IEEE - Spectrum - Sharing Virtual Worlds, vol.34, n.3, March, 1997, é uma boa leitura sobre este assunto.

como a comunicação e a cooperação durante a realização de uma atividade [21].

Para muitos pesquisadores a aprendizagem deve ser vista como uma forma de “esculturação” que ocorre em um contexto onde cada estudante relaciona-se em torno de uma comunidade.

O ambiente na rede deve ser projetado para integrar mídias diferentes e como a informação recebida é interpretada pelo estudante depende de como ele a vê na tela. E isto depende de como a página Web é construída e como se organiza o conteúdo. Aqui são sugeridas algumas considerações para se criar um ambiente pedagógico, respondendo-se brevemente as seguintes perguntas:

- o material “on-line” é didático?

Deve-se decidir se o conteúdo é satisfatório para um ambiente assíncrono;

- os mecanismos são adequados?

Deve-se focar as exigências mínimas necessárias em lugar de características tecnológicas que possam diminuir a efetividade e o valor pedagógico. Um local (“site”) bem projetado pode ser usado como uma boa ferramenta pedagógica sem características desnecessárias;

- como ser criativo no projeto de ambientes “on-line”? Como tirar proveito de ambientes de instrução já construídos?

A escolha em adotar produtos prontos ou como colocá-los no “site” irá depender de quanto material será posto e quanto tempo e dinheiro está disponível.

Para oferecer um ambiente de aprendizagem “on-line” existem muitos itens menores para se pensar. Estes assuntos relacionam à exibição do conteúdo na tela e como apresentar o material de uma maneira efetivamente pedagógica. O “site” pode ser construído em HTML, que é interpretada por diferentes sistemas operacionais e navegadores na rede. Elaboraões com RV podem se utilizar da VRML. Mas o principal é:

- Testar extensivamente o “site”: Este, ainda em desenvolvimento, deve ser examinado em uma grande variedade de navegadores e sistemas operacionais. Se existir uma aceitabilidade similar na maioria destes navegadores e sistemas operacionais testados, então o código foi bem escrito, em consideração às diferenças inatas entre estes navegadores e sistemas operacionais;
- Estimular a criação de páginas simples e bem projetadas de forma a manter as exibições simples e consistentes. Cabeçalhos, rodapés, menus de páginas e todas as exibições devem estar num projeto consistente. Usar botões comandos e abreviações padronizados.

Existe um grande número de modelos de “site” que podem ser combinados para criar ambientes de aprendizagem na Web. É comum, na Web, a existência de modelos com listas de cada tópico contendo ligações de textos com os conteúdos abordados. As imagens interativas podem ser usadas para os menus de item, mas as imagens podem também ser seguidas por uma ligação a outro texto. Um menu principal pode levar a submenus com mais informações. Fishwick [43] considera os seguintes pontos na implementação de um “site” de aprendizagem na Internet:

- atualização de materiais para manter o interesse dos estudantes e acompanhar a tecnologia. Os próprios estudantes podem ser envolvidos nesta atividade;
- utilização de modelos padrões para economizar tempo e prover um banco de diferentes modelos para vários tipos de páginas;
- facilidade de impressão, compactação e obtenção da documentação;
- verificação da disponibilidade da informação necessária para evitar a frustração dos estudantes;
- consistência nos sinalizadores de informações úteis (marcadores no topo das páginas oferecem rápido acesso) nas páginas;
- simplicidade e clareza das páginas: em ambientes hipertexto, estudantes podem ir a toda parte e se perder também. Deve-se ter certeza que vínculos de hipertexto não sejam exagerados. Só devem ser usados quando forem essenciais.
- espaçamento das páginas: as páginas não devem sobrecarregar os estudantes com muita informação simultânea;
- edição cuidadosa: verificações devem ser feitas quanto a linguagem utilizada, ortografia e gramática para evitar confusões;
- inclusão de áudio com tons suaves (exceto quando chamar a atenção), os vídeos devem ser usados quando uma técnica de movimento é essencial. As imagens são mais efetivas. A tendência é utilizar animações Java que requerem menos recursos computacionais e produzem bons efeitos;
- ferramentas de apoio à navegação.

### 4.5.1 Simulações e o mundo eletrônico virtual

Segundo Barreto [15] “... *simulação é a arte de experimentar com algo simples para se compreender algo complexo ...*”. Pode-se entender que não existe um significado universal e preciso da palavra “simulação”.

Se simular é um arte, como traçar formalismos de conhecimento teórico para prover uma relação entre as tarefas dos estudantes e dos modelos de simulação, permitindo a resposta de perguntas do tipo “que acontece?”.

À luz dos princípios educacionais abordados anteriormente, a contribuição mais óbvia das simulações é que elas permitem aos estudantes (através de conceitos) interagir com um domínio de conhecimento. Assim, a utilização da simulação muda conforme o domínio da aplicação.

As simulações podem ajudar os estudantes a observar os efeitos dos eventos através de visualizações tornando possível o raciocínio abstrato. As simulações também permitem aos estudantes manipular objetos e experimentar as consequências das decisões. Além de adquirirem os conceitos abstratos os estudantes podem desenvolver tarefas atingindo metas realísticas em um domínio.

Um trabalho interessante, pelo caráter histórico, diz respeito a simulação no ensino do ciclo cardíaco, que é dado em Jones [64]. Este sistema, todavia, não utilizava o computador e sim dispendiosos dispositivos eletro-mecânicos. Com a utilização do computador, todos os aparatos deste sistema atualmente são substituídos com facilidade e com resultado muito superior. Uma prova disso é o que se observa no trabalho de Kreutz [69] que disponibiliza na rede um sistema de ensino da fisiologia cardíaca muito interessante.

Um dos problemas dos programas de simulação é a diversidade de domínios, situações, condições, estratégias, etc., em que podem ser utilizados. Isto dificulta naturalmente a especificação de uma ferramenta para construir este tipo de programas.

A simulação via rede representa a conexão entre a Web e o campo da simulação. As simulações remotas podem ser enfocadas sob diversos aspectos mas, sob o aspecto educacional, permitem ao estudante, aprender através da exploração de um mundo virtual. Utilizando a metáfora de cliente-servidor, algumas partes do modelo na simulação podem ser executadas em uma máquina do servidor e outras na máquina do usuário. Linguagens de roteiros (Perl, Java, etc.) permitem construir um programa de alto nível que roda o código da simulação uma vez que sejam obtidos os parâmetros de entrada. Muitos usuários podem rodar a simulação simultaneamente pois a idéia de Java e Javascript é juntar um pedaço de código (denominado de “applet”) e enviá-lo para ser executado no computador do cliente. Visto da perspectiva do modelo, não faz diferença o número de clientes rodarem a simulação simultaneamente.

### 4.5.2 Simulação e IA

Simulação e IA têm sido utilizados já há algum tempo. Por exemplo, Futo [52] oferece uma visão geral sobre IA e simulação baseada em Prolog desenvolvida há mais de dez anos. Exemplos de simulação de eventos discretos também podem ser encontrados Doukidis [37], Baudel [23] usando as linguagens de programação LISP (processamento de listas) e Smalltalk (orientada a objetos), respectivamente.

Diferente da análise numérica de equações diferenciais, a simulação de sistemas complexos não possui um fundamento conceitual e matemático bem estabelecido. Neste caso, a simulação qualifica e separa a representação destes sistemas com características próprias e implicações.

A representação de sistemas dinâmicos é implícita e construtiva: as relações que constituem as propriedades de interesse não são explicitamente codificadas em componentes simulados de subsistemas mas ao contrário, emergem tornando-se acessíveis à observação como resultado de efeitos coletivos de interações computadas entre seus subsistemas. Isto implica que deve ser necessário relacionar o conceito de emergência e o conceito de simulação.

As explicações dos sistemas físicos utilizando o Raciocínio Qualitativo parecem apontar um caminho para o desenvolvimento de Ambientes de Ensino-Aprendizagem.

Segundo Salles [107] as simulações qualitativas no computador tem um grande potencial para ensinar as pessoas a entenderem e interagirem com ambientes físicos. O pré-requisito para uso deste potencial é que estas simulações podem explicar aos humanos da maneira que eles compreendam. A interação entre os estudantes e os sistemas é guiada por um "tour" mental através de sucessivos estados da simulação. A cada estado da simulação diversas questões podem ser feitas. Estas questões são ligadas à "informação necessária" para o entendimento dos tópicos do discurso. Na base destes tópicos, o planejador do discurso planejará seqüências de declarações relacionando crenças dos estudantes e o processo do estado de discurso.

Sistemas como o SOPHIE e STEAMER, citados anteriormente, podem ser vistos como pioneiros na tentativa de fazer os computadores comunicarem o conhecimento sobre o comportamento de sistemas físicos com os estudantes [50]. Os esforços para isto se enquadram na área da IA conhecida como *Raciocínio Qualitativo*<sup>2</sup>.

As simulações qualitativas parecem ser interessantes para domínios biológicos. Não somente devido à inexistência de dados quantitativos, mas os modelos qualitativos oferecem muitas características adicionais que são importantes para os estudantes interagirem com a simulação. Raughunathan [101] descreve o projeto

---

<sup>2</sup>O raciocínio qualitativo tem ganho adeptos também em projetos de sistemas industriais, como mostrado em diversos trabalhos na edição especial da Revista IEEE Expert, Intelligent Systems and Their Applications, vol.2, n. 3., May/June, 1997.

GenSim no qual são utilizadas simulações de um sistema genético representando modelos, enzimaticamente catalisados por reações bioquímicas, cujos substratos incluem macromoléculas com estruturas internas complexas, tais como RNA e DNA. Neste trabalho desenvolveu-se um modelo de conhecimento qualitativo sobre objetos (proteínas) e processos na biologia molecular e bioquímica.

## 4.6 Considerações sobre a Interface

Ao se construir ambientes de aprendizagem em “sites” da Web os aspectos da interface devem ser cuidadosamente considerados. Enquanto o uso da palavra “interface” sugere uma discussão da interface com o usuário (gráfica ou textual), o termo aqui é designado como um conjunto de métodos através do qual o usuário possa interagir com o ambiente.

A interface não tem somente uma importância para a entrada e a saída da informação, ela também complementa dados importantes sobre o processo de aprendizagem. Algumas informações sobre a consistência visual e textual, na implementação de interfaces gráficas para usuários (GUI), podem ser obtidas no trabalho de Mahajan [72].

### 4.6.1 Módulos textuais

Para agregar um valor pedagógico, pode-se implementar o sistema na forma de um ambiente de aprendizagem como sendo uma coleção de pequenos módulos. Cada módulo pode apresentar um conceito específico, ilustrado por relações ou características próprias. Desta maneira cada parte poderá ter enfoque claro e o estudante terá um bom entendimento dos conceitos estudados, usando a ferramenta corretamente.

Algumas abordagens têm utilizado o conceito de agentes inteligentes para melhorar a produtividade de ambiente de ensino via computador [74], [75]. Um exemplo de estudo de comportamento do usuário final em uma implementação generalizada é dado por Maulsby [74].

### 4.6.2 Uso de gráficos

Muito tem sido dito sobre o uso de gráficos mas, pela experiência, sabe-se que os gráficos devem ser equilibrados com o conteúdo, usados somente quando necessário.

As imagens na Web podem tornar lento o carregamento da página e nem todos os usuários tem a capacidade de visualizar todos os gráficos por limitações de “hardware” e conectividade.

### 4.6.3 Ajuda ao usuário

A maioria dos programas educacionais na Web falham na explicação dos processos ao usuário. O ambiente deve conter ajuda a todas as operações efetuadas pelo usuário com documentação “on-line”.

Outro procedimento pode ser a colocação de exemplos elucidativos para auxiliar o aprendiz. Esta ajuda ao aprendiz deve ser cuidadosamente estudada. Uma boa opção é colocar um módulo de ajuda sensível ao texto para as questões que podem surgir como o manuseio do programa, a introdução de parâmetros, a verificação das respostas e os resultados gráficos. A produção de ligações (“links”) com páginas de ajuda será facilitada pela abordagem hipertexto mas deve ser observado o perigo da perda no espaço de informações. Nesta fase deverá ser feito um controle maior da navegação.

## 4.7 Considerações sobre a Linguagem de implementação

Um dos problemas dos programas educacionais é a diversidade de domínios, situações, condições estratégias, etc., em que podem ser utilizados. Isto dificulta naturalmente a especificação de uma ferramenta para construir este tipo de programas. De qualquer forma, a ferramenta para apoiar o ensino deve:

- ser especificamente desenvolvida para este fim e possibilitar a construção de programas de simulação com diferentes tipos de modelos;
- permitir a colocação de diversas formas de visualização variadas (gráficos, figuras, ícones, etc.) e técnicas de animação diversas (embora possa haver simulações sem animação, um programa animado permite uma percepção diferente da realidade: mais fácil, mais rápida, mais concreta, mais rica);
- permitir a inclusão de diversas formas de interação (botões, menus, ícones, janelas, caixas de diálogo, perguntas de escolha múltipla/resposta simples/aberta, etc.);
- integrar outros meios no programa (som, imagens digitalizadas, seqüências animadas, seqüências de vídeo, etc.) e dados de outras ferramentas se possível;
- ser de fácil manuseio, permitindo alterações sempre que necessário, por exemplo, a criação de sub-modelos em pedaços de programas para serem reutilizados posteriormente;

- ser portátil, para outras máquinas, línguas e culturas, e permitir a utilização, individual ou em rede, e ser barata.

Apesar de muitos programas em Java serem simples animações que muitas pessoas adicionam a seus endereços na Internet para fazer apelos visuais, mais e mais aplicações orientadas a programas tem sido desenvolvidas para resolução de problemas.

Após o estudo dos aspectos pedagógicos envolvidos na construção do Ambiente de Ensino de RNA via rede de computadores, abordados neste capítulo, foi feita sua formalização implementando um modelo teórico de Hiperídia a ser mostrado no Capítulo 5.

## Capítulo 5

# Hipermídia: Modelo Teórico

*“The only way to rectify our reasonings  
is to make them as tangible as those of  
the mathematicians, so that we can find  
our error at a glance, and when there are  
disputes among persons we can simply say,  
‘Let us calculate ... to see who is right.’ ”*  
*LEIBNIZ, The Art of Discovery*

Tem-se aqui uma definição teórica de Hipermídia, fundamentada na Teoria de Autômatas, considerando-se que isto pode aumentar o potencial destes sistemas quando são considerados seus aspectos dinâmicos.

### 5.1 Definição teórica de Hipertexto

Os trabalhos de Pagano [86], [87], [88], [89] e [90] apresentam uma definição teórica de hipertexto. Segundo Pagano o hipertexto tem sido apresentado dentro da perspectiva teórica, como um grafo, como uma rede semântica ou como rede de Petri. A maioria destas abordagens não incorpora todas as características do hipertexto, sendo formalismos de natureza declarativa que não consideram os aspectos dinâmicos do hipertexto. Um modelo formal de hipertexto ou de hipermídia (o computador gerencia vários meios para apresentar a informação e isto justifica porque as implementações de hipertexto são às vezes denominadas de hipermídia), pode ser fundamentado na Teoria de Autômatas, incorporando não somente os aspectos declarativos do sistema (por exemplo, o diagrama de transição), mas também os aspectos dinâmicos (a evolução no tempo do autômata em resposta a qualquer seqüência de entrada de dados).

## 5.2 Conceitos básicos da Teoria de Autômatas

Um autômata pode ser considerado como uma particularização de um sistema dinâmico. Informalmente, pode-se dizer que o rótulo “dinâmico” tem o mesmo significado de “causal”: as entradas passadas influenciam o futuro mas o contrário não é verdadeiro. Ou seja, a noção matemática de sistema dinâmico serve para descrever o fluxo de causa entre o passado e o futuro. Em um sistema dinâmico descreve-se um sistema como se estivesse descrevendo o mecanismo de como ele trabalha (internamente), especificando como o conjunto dos estados varia com o tempo [16]. Tal descrição é suficiente para gerar uma definição comportamental.

**Definição 5.2.1** *Um Sistema Dinâmico é o objeto matemático descrito em como:*

$$S_d = \{T, U, \Psi, Y, \Lambda, X, \Sigma, \delta\}$$

onde:

$T$  é o conjunto dos tempos,

$\Psi$  é o conjunto de funções de entrada  $\psi \in \Psi = \{\psi : \rightarrow U\}$ ,

$U$  é o conjunto dos valores de entradas,

$Y$  é o conjunto dos valores de saídas,

$\Lambda$  é o conjunto de funções de saída  $\lambda \in \Lambda = \{\lambda : T \rightarrow Y\}$ ,

$X$  é o conjunto dos estados,

$\Sigma$  é a função de transição de estados  $\Sigma : T \times T \times \Psi \rightarrow X$ ,

$\delta$  é a função de saída  $\delta : T \times X \times U \rightarrow Y$ ,

Informalmente, a noção de sistema dinâmico corresponde a um sistema funcional temporal cujo estado varia com o tempo dependendo do valor da entrada. Assim, todos os sistemas dinâmicos são sistemas temporais e funcionais. As escolhas particulares dos conjuntos envolvidos na definição de sistema dinâmico conduzem a diferentes tipos de sistemas. Detalhes sobre tais sistemas podem ser obtidos em Barreto [16].

**Definição 5.2.2** *Um Sistema Dinâmico Contínuo no Tempo (ou sistema contínuo no tempo) é um sistema dinâmico onde:*

$T$  é um subconjunto dos números reais,

$X, U, Y$  são subconjuntos de  $R^n, R^m, R^p$ , espaço real  $n, m, p$ -dimensional,

$\Sigma$  é um conjunto de funções diferenciáveis em relação a  $t$ .

**Definição 5.2.3** *Um Sistema Dinâmico Discreto no Tempo (ou sistema discreto no tempo) é um sistema dinâmico no qual o conjunto dos tempos é um subconjunto dos inteiros.*

**Definição 5.2.4** *Um Sistema Invariante no Tempo é um sistema dinâmico cuja função de transição  $\Sigma$  depende de um único elemento de  $T$  e a função de saída é independente de  $T$ .*

É útil tomar como uma primeira aproximação de um sistema real um modelo invariante no tempo ou em sistema estacionário. O fato de que a função de transição depende somente de um elemento de  $T$ , significa que o valor do estado não depende do tempo inicial nem do tempo considerado, mas somente do intervalo de tempo entre o tempo inicial e o tempo considerado. A função de saída sendo independente do tempo significa que para qualquer instante, estado e entrada iguais, produz-se a mesma saída. Se este é o caso, para qualquer tempo inicial, somente a duração do experimento é importante para determinar o estado e a saída em qualquer instante.

Como lidar com sistemas variantes no tempo frequentemente não é muito fácil, às vezes, o espaço de estado é enriquecido com uma nova variável tempo e o sistema resultante não é mais um sistema variante no tempo. Então, pode-se dizer que a qualquer sistema variante no tempo corresponde um sistema invariante no tempo, no qual o tempo foi considerado como um novo elemento do conjunto dos estados, este o conjunto dos tempos<sup>1</sup>.

Um tipo muito usual de sistema dinâmico em Ciência da Computação é a *máquina de estados finitos*. Informalmente, uma máquina de estados finitos é um sistema dinâmico onde o conjunto dos tempos é o conjunto dos inteiros, e a entrada, a saída e os estados são conjuntos finitos. Neste caso, os valores possíveis da entrada e da saída são referidos como alfabetos de entrada e saída. Sob estas simplificações, não é essencial indicar explicitamente o conjunto dos tempos  $T$  nem explicitamente introduzir  $\Psi$  e  $\Lambda$ . Por outro lado, é usual declarar explicitamente um estado inicial correspondente ao tempo zero [16].

**Definição 5.2.5** *Um Autômata (ou máquina) é descrito abstratamente como uma sêxtupla [16]:*

$$A_t = \{U, Y, X, x_0, \lambda, \eta\}$$

onde:

---

<sup>1</sup>Esta equivalência entre sistemas variantes e invariantes no tempo pode parecer muito abstrata. Contudo, na escrita do código de simulação para sistemas variantes no tempo, ela é frequentemente utilizada [16].

$U$  é um conjunto finito de entradas,  
 $Y$  é um conjunto finito de saídas,  
 $X$  é um conjunto de estados ou espaço de estado,  
 $x_0 \in X$  é o estado inicial,  
 $\lambda : U \times X \rightarrow X$  é a função de próximo estado ou função de transição,  
 $\eta : U \times X \rightarrow Y$  é a função de próxima saída.

**Definição 5.2.6** *Um autômata é um sistema dinâmico invariante e discreto no tempo. Quando o espaço de estado é um conjunto finito, o autômata é chamado de autômata finito .*

Então, esta sêxtupla formal é interpretada como sendo uma descrição matemática de uma máquina à qual, se no tempo  $t_0$ , estiver no estado  $x_0$  e receber um segmento de entrada  $u$  do tempo  $t_0$  ao tempo  $t$  estará no tempo  $t$  no estado  $\lambda(x, u)$  e emitirá a saída  $\eta(x, u)$  [16].

**Exemplo 5.2.1** *Considerando-se o autômata  $M$ :*

$$M = \{U, Y, X, x_0, \rho, \delta\}$$

onde:

$U = \{0, 1\}$ , conjunto de entradas,  
 $Y = \{\alpha, \beta, \pi\}$ , conjunto de saídas,  
 $X = \{A, B, C\}$ , conjunto de estados,  
 $x_0$ , estado inicial que pode ser tanto  $A$ ,  $B$  como  $C$ ,  
 $\rho : U \times X \rightarrow X$ , função de próximo estado,  
 $\delta : U \times X \rightarrow Y$ , função de próxima saída.

Os valores das funções  $\rho$  e  $\delta$  são dados por:

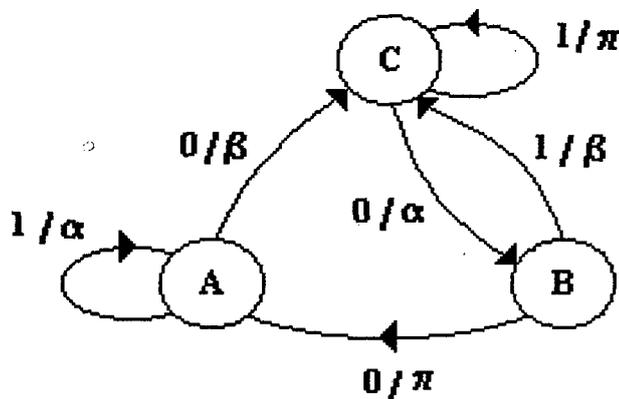
$$\begin{aligned}
 \rho(0, A) &= C & ; & & \delta(0, A) &= \beta \\
 \rho(1, A) &= A & ; & & \delta(1, A) &= \alpha \\
 \rho(0, B) &= A & ; & & \delta(0, B) &= \pi \\
 \rho(1, B) &= C & ; & & \delta(1, B) &= \beta \\
 \rho(0, C) &= B & ; & & \delta(0, C) &= \alpha \\
 \rho(1, C) &= C & ; & & \delta(1, C) &= \pi
 \end{aligned}$$

Pode-se construir a Tabela 5.1 de transição de estados  $\rho$  para autômata  $M$ .

|                        |         |          |       |         |          |       |
|------------------------|---------|----------|-------|---------|----------|-------|
| Estado presente $X$    | A       | A        | B     | B       | C        | C     |
| Entrada $U$            | 0       | 1        | 0     | 1       | 0        | 1     |
| Próximo estado $Y$     | C       | A        | A     | C       | B        | C     |
| Próxima saída $\delta$ | $\beta$ | $\alpha$ | $\pi$ | $\beta$ | $\alpha$ | $\pi$ |

Tabela 5.1: Transição de estados do autômata  $M$ 

Este autômata  $M$  pode ser representado por um grafo orientado conforme ilustra a Figura 5.1. Nota-se que o mesmo estado de um autômata pode ter uma ou mais saídas. Por exemplo, o estado  $A$  do autômata  $M$  pode ter as saídas  $\alpha$  ou  $\beta$ . E ainda, dois estados diferentes, como  $A$  e  $B$  do autômata  $M$  podem ter a mesma saída, como por exemplo,  $\beta$ .

Figura 5.1: Grafo representando o autômata  $M$ 

Essencialmente existem dois tipos de representação em grafos.

1. A cada estado, é associado um nó do grafo (círculo) e para cada transição de estado associa-se os arcos (com setas). Ao lado de cada arco orientado (setas), são indicados: as entradas aplicadas ao estado original (início da seta) e a saída resultante no próximo estado (final da seta).
2. Associa-se a cada subconjunto de nós um estado. A função de saída tem por argumentos este subconjunto de nós e a entrada que faz o mapeamento na saída, que persiste, até a próxima entrada.

**Definição 5.2.7** *Dois autômatas que apresentam o mesmo par de segmento de entrada e segmento de saída são ditos equivalentes no nível comportamental.*

### 5.3 Hipertexto como autômata

A introdução de características dinâmicas parece aumentar as possibilidades do hipertexto em ambientes de aprendizagem computadorizados, conforme demonstrados em Pagano [86], [87], [88], [90]. Um modelo teórico de hipertexto necessita de três conceitos a serem incorporados: o nó de informação, a ligação entre os nós e os nós de simultaneidade. Este último conceito, considerando-se que um ou mais nós podem ser apresentados simultaneamente na tela.

Um sistema computacional, denominado hipertexto, pode ser convenientemente definido como autômata:

**Definição 5.3.1** *Um hipertexto  $H_p$  é descrito abstratamente como a séxtupla:*

$$H_p = \{U, Y, X, x_0, \rho, \delta\}$$

onde:

$U$  é o alfabeto finito de entrada,

$Y$  é o alfabeto finito de saída,

$X$  é o espaço de estado finito,

$x_0 \in X_0 \subset X$  é o estado inicial,

$\rho : U \times X \rightarrow$  é a função de transição de estados,

$\delta : U \times X \rightarrow$  é a função de saída do próximo estado.

O alfabeto de entrada  $U$  do hipertexto  $H_p$  é o conjunto de valores que o usuário pode introduzir no sistema, através do teclado, "mouse" ou qualquer outro dispositivo. As ações, como mudança de tamanho de uma janela, acionamento de botão, etc., geram o alfabeto de entrada.

O conceito de *estado* conduz ao aspecto dinâmico do hipertexto. A possibilidade de apresentação simultânea de nós de um hipertexto é essencialmente uma porção deste modelo através do conceito de estado. Se cada nó de informação é associado, por exemplo, com uma janela na tela do computador (uma forma possível de saída), então um conjunto de janelas na tela caracteriza um estado  $x$  do hipertexto  $H_p$ .

O estado inicial  $x_0 \in X_0 \subset X$  do hipertexto  $H_p$  é qualquer estado no qual o usuário pode começar a navegar no documento. Pode existir um ou mais estados iniciais (configuração de nós) dos quais, por exemplo, um pode iniciar a localização de uma base de dados.  $X_0$  é o conjunto de todos os estados iniciais possíveis e um subconjunto de todos os estados possíveis.

A função de transição pode ser referida como uma ligação ("link") que "junta" o hipertexto como um todo.

A função de transição  $\rho$  do hipertexto  $H_p$  é a função que conduz o sistema hipertexto de um estado a outro, dada uma seqüência de dados da entrada.

O usuário poderá notar a transição de estado a outro se o conjunto de nós apresentados a ele em um novo estado tem valores de saída diferentes do estado anterior.

O alfabeto de saída  $Y$  de um hipertexto  $H_p$  inclui todas as formas de representação da informação que são vistas pelo usuário na tela. O tamanho e a forma de cada janela na tela, suas posições relativas, gráficos, sons, vídeo, etc., caracterizam um alfabeto de saída.

A função de transição  $\delta$  de um hipertexto  $H_p$  é uma função que, dada uma seqüência de entrada e um estado, oferece a informação e sua representação na tela ou em qualquer outro dispositivo. As possibilidades de apresentação dependerão da riqueza do alfabeto de saída. A função  $\delta$  possui valores no alfabeto de saída, um conjunto de meios de apresentação que depende do estado dado e do alfabeto de entrada.

Se cada nó de informação é associado, por exemplo, com uma janela na tela do computador (uma forma possível de entrada), então um conjunto de janelas na tela caracteriza um estado  $x$  do hipertexto. Pagano [91] colocou isto em termos formais como:

Considerando  $n$  como um nó, isto é, a unidade indivisível da informação. Sendo  $N$  o conjunto de todos os nós existentes do documento:

$$N = \{n_1, n_2, \dots, n_p\}$$

Sendo  $P(N)$  o conjunto de partes de  $N$ , então:

$$P(N) = \{\phi, \{n_1\}, \{n_1, n_2\}, \dots, N\}$$

O conjunto de estados ou espaço de estados  $X$  do hipertexto  $H_p$  é igual a  $P(N)$ . O estado  $x \in X$  do hipertexto  $H_p$  é um elemento de  $P(N)$ .

De modo a ilustrar o conceito de hipertexto como um autômata, são consideradas duas situações (dois elementos diferentes no conjunto de tempos) que serão descritos a seguir e que correspondem a Figura 5.2. Este exemplo ilustra também a segunda representação dos grafos como mostrado na subseção 5.2.

**Exemplo 5.3.1** *No lado esquerdo da Figura 5.2 são mostrados os nós 20 e 30 de um hipertexto qualquer. Uma entrada do tipo "acionar o mouse no nó 30" torna a saída conforme mostrado no lado direito da Figura 5.2. Observa-se que a saída mudou mas o estado não.*

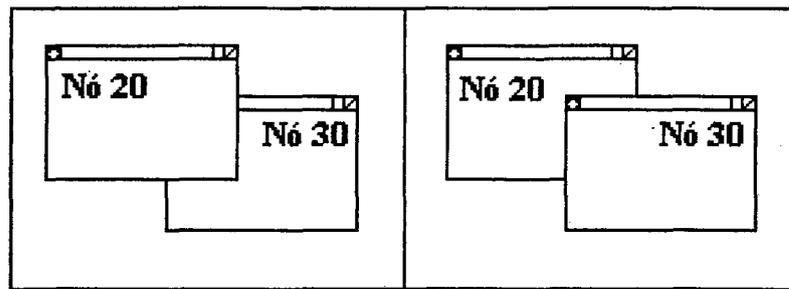


Figura 5.2: Mudança de saída e inalteração de estado no hipertexto  $H_p$

No Exemplo 5.3.1 para cada valor de tempo corresponde um e somente um estado. Nesta situação, o estado do hipertexto  $H_p$ , em um determinado instante, é  $x_1 = \{n_{20}, n_{30}\}$  e o alfabeto de saída é  $y_1$ . Isto é,  $y_1$  é a apresentação visual, o conjunto de janelas como visto na tela esquerda da Figura 5.2 (gráficos, tamanho, posição relativa, etc.).

A saída  $y_1$  permanece até o tempo no qual a entrada  $u_1$  = “acionar o mouse no nó 30” produz a saída  $y_2$  cuja situação é dada no lado direito da Figura 5.2, onde a janela 30 move-se para frente. Isto significa que para o estado  $x_1$  e a entrada  $u_1$  a função de saída  $\delta$  conduz a saída  $y_2$  (nota-se que a posição relativa das janelas mudou). Todavia, neste caso, quando a entrada  $u_1$  foi aplicada no estado  $x_1$ , a função de transição leva ao mesmo estado  $x_1 = \{n_{20}, n_{30}\}$ . Pode-se atingir o mesmo estado com uma saída diferente devido ao fato de que a função de saída depende da entrada e do estado ( $\delta : UxX \rightarrow Y$ ).

De acordo com Pagano [91] dois problemas podem surgir na construção e interconexão de documentos em um hipertexto. O primeiro problema é assegurar que a unidade de informação seja observável, isto é, que se possa determiná-la pela observação do comportamento entrada/saída do sistema. O outro problema é assegurar que a unidade do sistema seja atingível, ou seja, acessível pelo usuário, dado seu estado inicial (ponto de partida do usuário na leitura do documento). Para que um estado  $x$  do hipertexto seja observável o usuário deverá navegar os estados de um hipertexto através do desenvolvimento de experimentos simples e perceber a transição de estado sobre o par entrada/saída. Um experimento simples poderia ser a entrada de um segmento de dados, através de qualquer dispositivo de entrada, e a observação da saída do segmento de dados, através de qualquer dispositivo de saída. Para dizer que todos os estados de um hipertexto são atingíveis é necessário que o usuário seja capaz de navegar através de todos os estados do hipertexto. A solução é ter um nó mapa na implementação para oferecer uma visão geral do sistema.

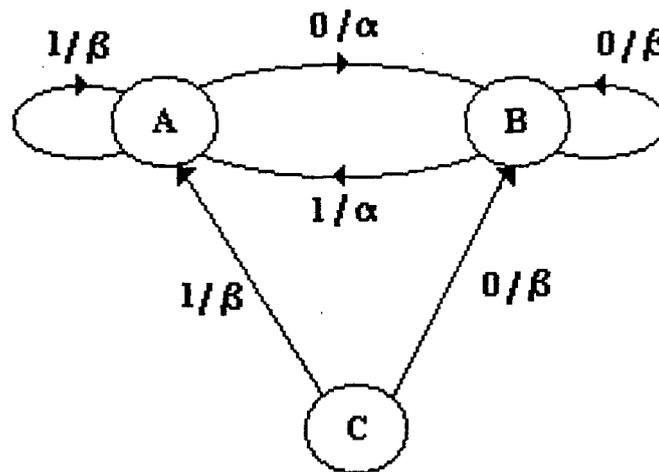


Figura 5.3: Representação de um hipertexto  $H$

**Exemplo 5.3.2** Considerar o hipertexto  $H$  representado na Figura 5.3 com o alfabeto de entrada  $U = \{0, 1\}$ , o alfabeto de saída  $Y = \{\alpha, \beta\}$  e o conjunto de estados  $X = \{x_1 = A, x_2 = B, x_3 = C\}$ .

Se  $x_0 = B$  é o estado inicial, não existe valor de entrada  $u$  para o qual partindo-se do estado  $x_0 = B$ , possa se atingir o estado  $x_2 = C$ . Então, diz-se que o estado  $x_2$  é inatingível. Também examinando-se o hipertexto  $H$  são encontrados estados não observáveis. Por exemplo, o estado  $x_1 = A$  é não observável porque dado o par de entrada-saída ( $u = 1, y = \beta$ ) não se sabe se o estado anterior era  $x_1$  ou  $x_2$ . Isto é, a entrada  $u = 1$  no estado  $x_1 = A$  conduz a saída  $y = \beta$ , a mesma saída é obtida para a entrada  $u = 1$  no estado  $x_2 = C$ .

Estes conceitos são importantes no sentido de que, se dois hipertextos são equivalentes o usuário não pode fazer distinção entre eles, exceto em detalhes computacionais. Ao se conectar nós de informação, é desejável ter um conjunto mínimo de ligações para que todos os estados sejam atingíveis e observáveis.

# Capítulo 6

## Ensino de RNA: implementações

*“What have I learned but the proper  
use of several tools ?”*

*GARY SNYDER, “What Have I Learned”*

Este capítulo mostra a implementação de um ambiente de apoio ao Ensino de conceitos introdutórios de IA. A temática escolhida é o Ensino de RNA via rede de computadores. A modelagem segue os conceitos de hipermídia como Autômata conforme abordado no Capítulo 5.

### 6.1 Hipertexto x Ensino de RNA: uma primeira experiência

Dada a importância do estudo das RNA e das aplicações da IA nos mais diversos domínios, foi criado por Almeida [8] um tutorial para ensino de conceitos introdutórios sobre as RNA e suas aplicações.

Com a composição do conteúdo inspirada em notas de aulas e trabalhos científicos de professores e alunos do PGEEL e CPGCC da UFSC, tal tutorial foi utilizado como apoio acadêmico durante 4 anos. Seu ciclo de vida termina aqui quando é apresentada uma versão alternativa conforme será mostrado na seção 6.2.

A principal motivação para o desenvolvimento deste tutorial foi oferecer uma visão geral sobre as RNA. O programa é hipertexto, orientado a objetos, desenvolvido em língua portuguesa, com a ferramenta Toolbook para Windows utilizando a metáfora do livro eletrônico.

Organizou-se uma rede de relações entre as informações e criou-se os documentos que constituíram o conteúdo do hipertexto. Esta técnica de apresentação da infor-

mação tem um interesse pedagógico importante, na formação contextual na situação de trabalho conforme Pagano [91]. Todavia, a superposição de informação de forma não linear, os atrativos visuais, podem causar impactos mais importantes sobre o usuário em detrimento do próprio conteúdo. Outra consideração muito comum encontrada na literatura é a relacionada a perda do usuário no espaço de informações. A Figura 6.1 mostra a tela inicial do programa.

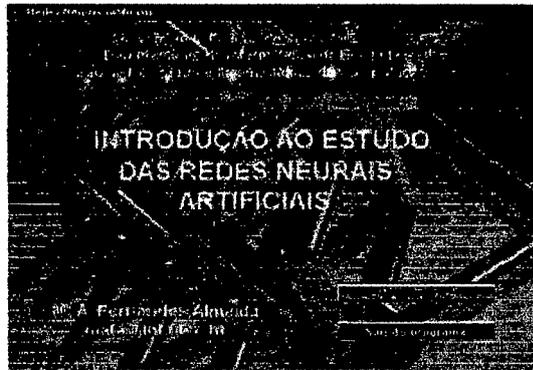


Figura 6.1: Tela de abertura do programa

O conteúdo do tutorial para Ensino de RNA aborda conceitos sobre a origem e o histórico das RNA, sua inspiração biológica, suas principais características e topologias, algoritmos de aprendizado e aplicações. Além das referências bibliográficas usuais sobre as RNA também foram ressaltadas algumas referências sobre trabalhos na área realizados na UFSC. Isto visava a reprodução de uma base de dados bibliográfica, de fácil acesso aos estudantes, para estimular a produção de novos trabalhos.

Os assuntos foram enfocados de maneira narrativa, com páginas nas quais o usuário poderia navegar livremente, mas obedecendo uma estrutura definida pelo autor.

Inicialmente dirigido aos alunos do PGEEL, este programa também despertou o interesse dos estudantes de CPGCC da UFSC. Por se tratar de um programa acadêmico, gratuito, de fácil manuseio, com requisição de poucos recursos computacionais e conteúdo abrangente, foi também divulgado entre os estudantes de graduação e pós-graduação de outras instituições de ensino superior brasileiras e estrangeiras.

A Figura 6.2 mostra uma tela representando a metáfora da página do livro com ligações para outras páginas através de botões icônicos. Neste exemplo, tem-se a descrição dos conceitos iniciais da Lei de Hebb [59] e informações complementares sobre a pessoa de Donald Hebb.

A versão atual deste programa pode rodar somente em uma única máquina ou

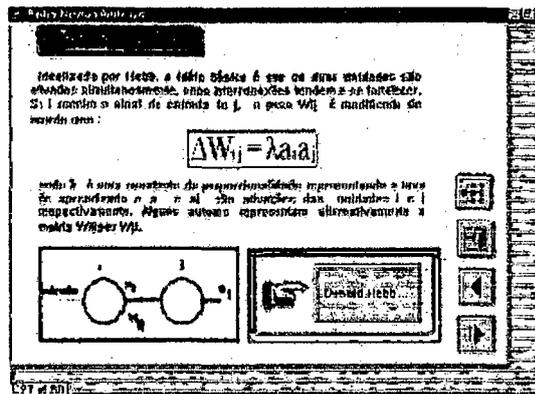


Figura 6.2: Exemplo de página do livro

em rede local. Nesta parte, apresentou bom desempenho funcional e computacional. Quanto aos aspectos pedagógicos, mostrou ser uma boa ferramenta didática apesar de seus recursos limitados.

O programa foi atualizado de acordo com as críticas e sugestões solicitadas a seus usuários, que se dispuseram a avaliar e colaborar para sua melhoria. Atendendo às sugestões obtidas, e observando-se a necessidade de facilitar seu acesso e divulgação, este programa serviu de inspiração para a extensão do Ensino de RNA, via Web, conforme será abordado na seção 6.2.

## 6.2 Hipermídia x Ensino de RNA: usando redes de computadores

O tutorial de RNA abordado na seção 6.1 motivou o desenvolvimento de um protótipo para ser usado na Internet, com as ferramentas atuais, para ser utilizado como apoio ao Ensino de RNA. Esta implementação foi denominada de *Ambiente de Ensino-Aprendizagem de RNA via Rede de Computadores*, adotando a filosofia *Construtivista* na sua concepção.

A implementação deste ambiente iniciou-se com a estrutura padrão, incorporando modularização e mecanismos da Programação Orientada a Objetos. A linguagem utilizada nesta primeira parte é a HTML e inclui pequenos roteiros em Java. As experimentações “on-line” ainda estão em fase de desenvolvimento, pois é sabido que é necessário também um estudo sobre quais simulações seriam mais adequadas a este ambiente sem comprometer o desempenho.

O conteúdo não pode ser considerado fixo pois dependerá da dinâmica das interações entre professores e alunos dos cursos que se utilizarem desta ferramenta de

Ensino. Salientando-se que estes cursos tanto podem praticar o Ensino presencial ou não. Assim, não se pode falar que o protótipo esteja pronto ou completo. Os testes iniciais parecem satisfatórios mas são limitados do ponto de vista do que poderá ser desenvolvido em conjunto com os professores, alunos da UFSC e de outras instituições.

Uma faceta interessante deste trabalho é que sua aplicação, em campo, deriva da parceria da autora com o Prof. Max Mauro D. Santos, do Curso de Ciência da Computação da Universidade do Vale do Rio Doce (UNIVALE), em Governador Valadares - M.G. Esta universidade encontra-se a mais de 1.500 km de distância da UFSC e este fato comprova que as distâncias geográficas podem ser diminuídas quando se utiliza adequadamente as ferramentas modernas de disseminação do conhecimento. Santos incentiva seus alunos a participarem da construção e utilização do programa [11]. Até o momento, seus alunos cooperam para desenvolvimento de algumas partes do sistema e ao mesmo tempo constroem o conhecimento juntamente com outros participantes da UFSC, embora estejam “fisicamente” distantes. A meta, neste caso, é observar as diferenças culturais e regionais dos estudantes na utilização de ambientes de Ensino via rede.

Sabe-se que o desenvolvimento deste trabalho cooperativo pode ajudar na melhoria não somente do próprio ambiente, mas esta integração, promove o desenvolvimento do país, conforme mencionado no Capítulo 2.

Quanto ao aspecto geral (que é flexível e dependente do contexto) o ambiente engloba:

- uma breve descrição da ferramenta e seu manuseio com uma súmula dos tópicos abordados;
- uma visão completa do material disponível, incluindo módulos tutoriais e mapa local mostrando sua estrutura;
- uma lista de todas as atividades que podem ser executadas e outros recursos de aprendizado;
- informações especializadas da tecnologia usada, ou seja, como manipular o ambiente;
- formulários de contatos, realimentação e avaliação dos estudantes com comentários para facilitar mudanças.

### 6.3 Grafo da implementação e estratégias pedagógicas utilizadas

Nesta seção é mostrado o grafo, conforme a Figura 6.4, do protótipo desenvolvido. Para a modelagem foram considerados alguns aspectos psico-pedagógicos suportados por teorias oriundas da Psicologia. O ambiente desenvolvido é uma extensão mais “elaborada” do tutorial de RNA abordado na seção 6.1. Este sistema inclui aspectos dinâmicos da multimídia e rede de computadores. Sua formalização é baseada no modelo teórico de hipertexto como autômata que foi apresentado no Capítulo 5. Além disso, espera-se que esta proposta possa contribuir para o desenvolvimento de trabalhos futuros que incorporem técnicas mais sofisticadas de IA no Ensino de conceitos da própria disciplina de IA.

A concepção Construtivista deste trabalho estimula a participação dos aprendizes em todo ciclo de vida do programa. Assim, os participantes (alunos e professores) podem não somente explorar o ambiente, navegando, efetuando práticas e experimentações, mas também opinar sobre conteúdo, refinar o programa, escrever códigos de simulação, testar e efetuar a manutenção das partes desenvolvidas ou em desenvolvimento, no local do ambiente em aprendizagem colaborativa. Todavia, isto é altamente dependente da parte presencial, ou seja dependerá da dinâmica de todo o processo de Ensino. Pretende-se que este seja um primeiro passo para a construção de um Laboratório Virtual para Ensino de IA. Uma linha se abre para trabalhos futuros que possam envolver até mesmo RV.

Ao entrar no ambiente um aprendiz, que já domine bem o assunto, poderá ser capaz de, em cerca de 20 a 30 minutos, percorrer todo trajeto (que inicia no nó unidade 1 e termina no nó unidade 8), tipo “espinha dorsal”. Neste tempo ele terá uma visão geral do conteúdo abordado não entrando em detalhes e nem fazendo experimentações. Para percorrê-lo completamente atingindo todos seus estados, calcula-se que ele deverá dispor de cerca de 10 horas em média, caso o assunto seja completamente explorado.

O “controle pedagógico” é efetuado por uma seqüência de nós. As funções do sistema resultante não são pré-fixadas e podem ser facilmente adaptadas de acordo com as necessidades de autoria ou de situações de aprendizagem necessárias. As informações de alto nível tais como perguntas, manipulações de erros, comportamento do aprendiz, são ainda objeto de estudo.

A título de simplificação da Figura 6.4 as linhas pontilhadas mostram os arcos que ligam-se a outros nós (mostrados na ponta das setas). Os nós que possuem a mesma configuração e são funcionalmente iguais também foram omitidos. Por exemplo, os nós 2.2 e 4 foram omitidos porque são funcionalmente iguais ao nó 2.

A descrição do grafo é resumida a seguir:

- nó apresentação - o nó 1 apresenta o ambiente e oferece informações gerais sobre a autoria, objetivos, navegação, recursos, endereço. Está ligado ao nó 2 que possui nó de detalhamento e retorno, a nó de recursos locais Lc e ao nó de recursos externos Ne. O estado inicial  $x_0 = 1$ . A entrada  $u_1 =$ “acionar o nó 1” conduz como saída  $y_1$  que é a apresentação de uma página introdutória sobre o ambiente. E assim as transições de estado vão ocorrendo de acordo com o manuseio do ambiente pelo aprendiz.

A definição dos objetivos e das unidades são sustentados pelas teorias de aprendizagem de Thorndike, Guthrie apud Hergenhahn [60] e Skinner [112]. Na aprendizagem via rede, se o aprendiz não for capaz de identificar claramente os objetivos do conteúdo abordado pode transferir seus interesses para outro local.

- Mp - nó mapa - oferece um mapa completo do ambiente. Através do nó mapa todos os estados são atingíveis. Este nó é muito importante para evitar que o aprendiz se confunda ou se perca no ambiente. Funcionalmente, acessar um nó mapa também pode ser comparado ao fato de “folhear um livro rapidamente para ver seu conteúdo do princípio ao fim”.
- 1, ... 8 - nós unidades. Nestes nós são apresentadas as unidades com os assuntos diversos sobre as RNA. No ambiente desenvolvido, tais unidades possuem ligações a nós de detalhamento, recursos internos e externos, entre outros. Em qualquer destes nós o aprendiz pode atingir nó de unidades e nós subtópicos através do nó mapa. Os nós de detalhamento não foram colocados no nó mapa para reduzir os recursos exigidos e oferecer um certo controle na navegação.

Skinner [112] desenvolveu o *aprendizado programado*. Estes conceitos foram aplicados durante muito tempo em sistemas de instrução programada. Muitos pesquisadores em *Sistemas de Ensino à Distância Computadorizados* afirmam que as redes de computadores são ambientes abertos e assíncronos que permitem aos estudantes aprenderem em seu próprio ritmo. Um certo cuidado deve ser tomado para que o aprendiz não tenha um ritmo muito lento, ou muito acelerado, em relação ao seu grupo de interação. Isto é essencial pois o ambiente aqui considerado não é um sistema de ensino totalmente à distância.

- 2.1, ..., 7.8 - nós tópicos e subtópicos. Os nós tópicos são uma extensão dos nós unidades. Os nós subtópicos contêm exercícios e ligações para os nós de simulação.

- A, ... , P - nós de detalhamento de tópicos e subtópicos. Caso o aprendiz deseje saber um pouco mais sobre determinado tópico, poderá acessar tais nós que contêm informações adicionais ou mesmo ligações para nós externos na rede com endereços de assunto relacionados na Web. Por exemplo, uma linha de tempo, no nó 2.1, possui ligações que levam aos nós A, ..., P, contendo informações sobre pioneiros no estudo das RNA. Por exemplo, o nó K oferece detalhes sobre a pessoa de Marvin Minsky na história da IA. Alguns destes nós podem se ligar a nós externos, como no caso de Minsky, para um nó contendo seus trabalhos no MIT.

A aplicação da teoria de Thorndike na educação pressupõe que o aprendizado procede do simples ao complexo [60]. Tratando-se de um ambiente que irá apoiar o Ensino de RNA em cursos, constituídos de partes presenciais e não presenciais, é importante a definição de público - alvo, além da apresentação de conceitos gerais aos mais complexos que poderão ser incorporados com o tempo e a utilização do ambiente.

- Dt - nó de detalhamento de unidade. O Dt oferece um detalhamento do nó 3. Possui ligação a nós externos da Web. Se o aprendiz quiser saber mais informações sobre as características gerais que não são relevantes ao assunto principal pode acionar o "mouse" para atingir tal nó e retornar através do nó de retorno Re.

Os excessos devem ser evitados. A teoria de Hull apud Hergenhahn [60] observa que a sobrecarga e a fadiga cognitiva podem romper totalmente o processo de ensino-aprendizagem. Problemas de ordem tecnológica tais como, dificuldades de conexão, complexidade de recursos computacionais, mudanças tecnológicas regulares, entre outros, também podem contribuir para desestimular o aprendiz. Caso ele não encontre um nó externo pode ficar frustrado. Caso hajam muitos nós de detalhamento, ele pode se cansar rapidamente.

- Bb - nó de bibliografia. Os nós de bibliografia oferecem a base bibliográfica utilizada nos assuntos abordados. Nota-se no grafo que estes nós estão ligados a todos os nós unidades 2 a 8.
- Gl - nó glossário. Como em um livro, se o aprendiz quiser saber o significado de alguma palavra considerada incomum ou própria da linguagem abordada, poderá acessar o nó Gl e retornar aos nós 2 a 8.
- Lc - nó local. Este nó contém recursos da rede interna do INE, isto é, no servidor, onde podem estar arquivos de dados, listas, acesso ao instrutor, horários de aulas, trabalhos, programas, páginas locais, entre outros.

Engajar os aprendizes em grupos de discussões para que possam desenvolver estratégias de resolução de problemas tem suas raízes na Teoria de Tolman, cujas principais diretrizes podem ser encontradas em Hergenhahn [60]. A composição de grupos e listas de discussões nas redes facilitam esta estratégia.

- Rc - nó recursos. Este nó pode ser ligado a diversos nós, tais como arquivos disponíveis (interna ou externamente), nós para listas de discussões, correio eletrônico, painel de horários, informações do instrutor, que deverão ser incorporados de acordo com as necessidades observadas. No momento, o nó recursos liga-se ao nó mapa, ao nó recursos locais e nós externos.
- Mm - nó memória. O objetivo do nó memória é oferecer um mapeamento de nós visitados anteriormente. Uma opção de utilização deste nó pode ser a colocação de marcas ("bookmarks") semelhantes aos livros, no qual o aprendiz pode deixar o sistema e quando voltar verificar onde estava. Este tipo de nó, assim como o nó mapa, é interessante como guia de navegação.
- Ne - nó externo para a Web. Permite ao aprendiz obter recursos disponíveis na Web com ligações para mecanismos de busca, bibliotecas virtuais, repositórios de artigos, programas acadêmicos e de domínio público (conectores, utilitários, etc.), simuladores, endereços de empresas de programas comerciais e tópicos relacionados.

Deve-se evitar a colocação excessiva deste tipo de nó por dois motivos. Primeiro, o aprendiz pode dispersar-se para outros endereços da Web ou perder-se no espaço de informações. Segundo, alguns locais da rede podem ser ou tornar-se (devido a constantes atualizações) incompatíveis com o navegador utilizado, então os erros causados podem interferir na navegação do aprendiz.

- Pr - nó prática. O aprendiz pode praticar e testar seus conhecimentos através de exercícios (que contém nó erro). A prática envolve também a simulação. As práticas mais simples englobam opções a serem selecionadas por questões de simplicidade. Por exemplo, uma opção também é colocar no nó 2 ou nó Rc arquivos com questões para serem respondidas e enviadas ao instrutor individualmente ou através de um nó Fórum que poderá ser incorporado.

Em teorias como de Guthrie, Bandura, Thorndike apud Hergenhahn [60] as práticas causam estímulos que provocam o comportamento desejado. Em modelagens comportamentais de instrução programada com fundamentos "Skinnerianos" [112] a prática é utilizada como reforço e condicionamento. Na literatura são encontradas várias críticas a estes sistemas ao longo dos anos.

No caso deste trabalho, observa-se que a abordagem mais adequada é a que permite a construção conhecimento através de experiências.

- Er - nó erro - Serve para verificação de resposta em exercício. Ao estudar conceitos no nó 5, se o aprendiz não acionar um nó opção de resposta definido no sistema, convencionado como resposta correta será retornado ao nó 5.

Para muitas aplicações das teorias de Thorndike e Bandura apud Hergenhahn [60] as avaliações regulares e auto-avaliação podem ser meios de verificar se o aprendiz absorveu o conteúdo. Alguns programas de instrução programada baseados em teorias comportamentais enfatizam a observação do comportamento do aprendiz para avaliá-lo, não considerando assim os aspectos psicológicos envolvidos no processo. As avaliações em um ambiente via rede de computadores devem ser diferentes das práticas convencionais. As práticas avaliativas, neste caso, devem enfatizar mais a participação e a integração do aprendiz ao ambiente na rede.

Os estímulos por recompensa ou motivação foram considerados essenciais ao processo de aprendizagem. Teóricos como Bandura apud Hergenhahn [60], Skinner [112] e Hebb [59] consideram estes estímulos sob diferentes pontos de vista. Hebb [59] sustenta que as características físicas do ambiente de aprendizado são muito importantes. Para qualquer tarefa dada e para qualquer estudante existe um nível ótimo de interesse que permitirá um aprendizado mais eficiente. Desde que este nível de interesse é controlado primariamente por um estímulo externo, o nível de excitação no ambiente de aprendizado determinará como este se efetuará. Se existe bastante estimulação o aprendizado será dificultado. E se ao contrário, existir pouca estimulação o aprendizado também será dificultado.

Um ponto interessante na teoria de Bandura é a ênfase dada aos processos *motores*, processos de *atenção*, *retenção* e de *motivação* dos estudantes. Assim, observa-se que, de acordo com esta teoria, filmes, televisão, leitura, transparências e outras mídias podem ser usadas numa ampla variedade de experiências educacionais. Maiores detalhes sobre a Teoria de Bandura podem ser encontrados em Hergenhahn [60].

A utilização do Método Lúdico [54] pode ser uma estratégia alternativa, oferecendo estímulos por motivação similares a alguns jogos de computador. Sabe-se que gráficos, animações, sons, filmes e outras mídias são formas de apresentação do conteúdo estimulantes. Todavia, sabe-se que outras formas de estímulos devem ser considerados ao longo do processo, principalmente a cooperação entre os atores envolvidos no ensino-aprendizagem.

- Re - nó retorno simples. O aprendiz retorna ao nó anterior. Não possui memória. São geralmente feitos com ligações do botão de “voltar” ou com o próprio navegador. Sendo que este último parece ser mais interessante pois reduz os recursos computacionais oferecidos pela “cache” do navegador.
- Rm - nó retorno com memória. Armazena os caminhos percorridos e as ações executadas pelo aprendiz. Este tipo de nó oferece uma vantagem em relação ao nó de retorno simples pelo fato de que pode agir como um “marcador de passos”. Pode ser implementado com rotinas em Java mas em alguns sistemas é possível haver problemas com memória e o programa trave a máquina. Isto é muito comum em sistemas denominados “webmails” [22].
- Sm - nó simulações. O aprendiz desenvolve simulações, após atingir o nó Pr ou ir diretamente do nó 6.1, que aborda os principais algoritmos de aprendizado das RNA. As simulações disponíveis no momento são executadas por programas obtidos em nós Ne, com códigos já testados em diversas máquinas. As experimentações remotas, desenvolvidas com facilidade em linguagens de roteiros que utilizem a metáfora cliente - servidor, oferecem amplas possibilidades na criação de ambientes exploratórios com simulações quantitativas e qualitativas. As simulações podem ser feitas localmente ou remotamente. O aprendiz pode acessar o nó Rc e obter simuladores que podem ser rodados localmente em horário que lhe convier, ou então pode executá-las “on-line”.

Um exemplo de nó simulação conduz o aprendiz a desenvolver simulações em Java com Rede de Kohonen, conforme mostrado na Figura 6.3. Neste caso, uma Rede de Kohonen executa o mapeamento de determinados pontos (valores de entrada da rede) no espaço tridimensional no menor percurso sem cruzar duas vezes o mesmo ponto. Este problema é similar ao clássico problema do *Caixeiro viajante* (“Travelling Salesman Problem”) (vide Barreto [17]) no qual deve ser encontrado o menor percurso entre um certo número de cidades, sem que se passe duas vezes pela mesma cidade.

Esta aplicação é baseada no trabalho de Frölich [51] que desenvolveu classes em Java para componentes comuns de redes neurais e disponibilizou-as para uso geral. As classes utilizadas são: número de neurônios (diferentes camadas de neurônios que podem ser conectadas) e matriz de pesos entre duas camadas de neurônios.

O aprendiz executa esta experimentação em cerca de dois minutos. Uma primeira análise sobre este sistema demonstrou ser satisfatória para os propósitos didáticos.

Outras implementações estão sendo elaboradas para serem colocadas no ambiente considerando fatores como simplicidade e o tempo de execução. Uma simulação que seja lenta pode desestimular os estudantes e ser economicamente inviável.

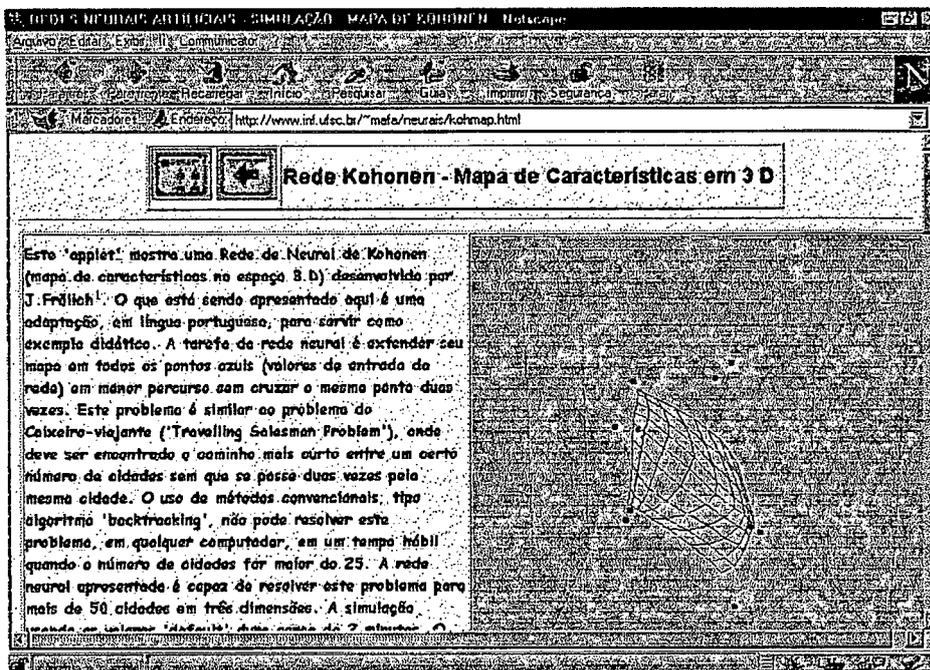


Figura 6.3: Exemplo de simulação na Web: Mapa de Kohonen segundo Frölich [51]

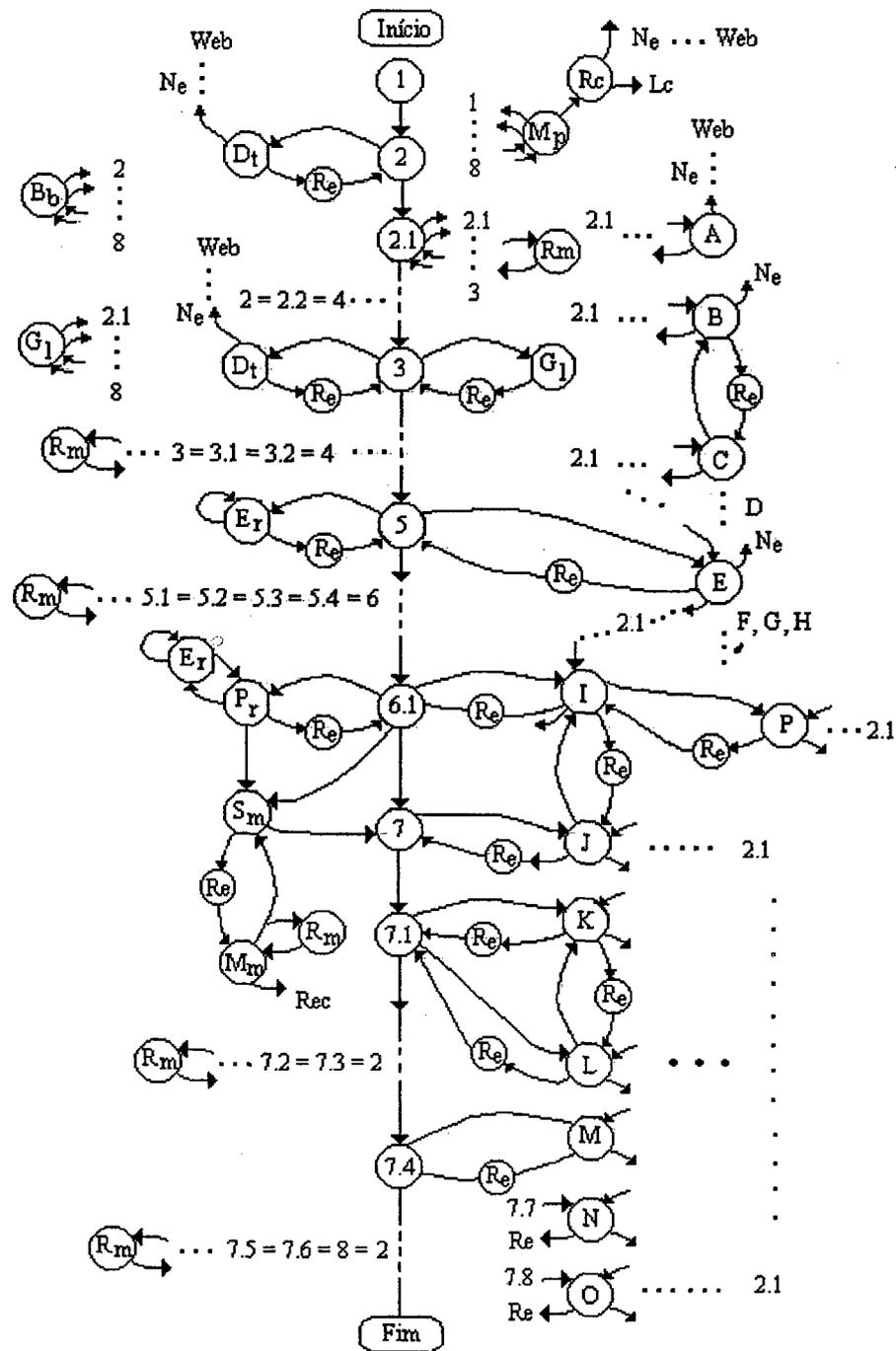


Figura 6.4: Grafo do protótipo implementado

# Capítulo 7

## Conclusões

*“... Let an ultraintelligent machine be defined  
as a machine that can far surpass  
all the intellectual activities of any  
man however clever...”*

*Thus the first ultraintelligent machine  
is the last invention that man ever make,  
provided that the machine is docile enough  
to tell us how to keep it under control ... ”*

JOHN IRVING GOOD - 1965

Hoje, o Ensino usando as tecnologias da informação participa no desenvolvimento de pessoas e, portanto, das nações. Todavia, devem ser consideradas suas implicações, limitações, possibilidades e especificidades.

O impacto do computador no Ensino e na Sociedade é iminente. É sabido que nos últimos dez anos, o computador cada vez mais se torna parte integrante do dia a dia dos brasileiros. Mais e mais dispositivos “computadorizados” surgem diariamente. É só lembrar como eram certos aparelhos, veículos, telefones e até mesmo o próprio computador. Mas uma pergunta se faz: como eram as Escolas? Como eram os métodos de Ensino? Eles mudaram diante de tanta novidade?

Estas mudanças tecnológicas conduzem a adoção do “aprender a aprender” num contexto global. Outro conceito surge na vida diária: a inteligência, que embora seja difícil de definir está sendo divulgada por toda parte. São anunciados carros inteligentes, rodovias inteligentes, controladores inteligentes, aparelhos de ar condicionado inteligente, fornos de microondas inteligentes, e assim por diante, até um comercial de cosmético na TV faz alusão a uma proteína inteligente (que age seletivamente na pele). Enfim tudo parece poder ser inteligente. A inteligência parece

ter sido banalizada, ou então o conceito que se tem feito dela...

*Aprender, atividade inteligente: e se esta inteligência for parcialmente artificial?*

Esta é a questão exposta no título deste trabalho, não querendo simplificar o conceito de inteligência humana ou exaltar o conceito da inteligência de dispositivos não humanos. Apenas observando, na ótica da Ciência da Computação, que é possível agregar a inteligência humana e a inteligência de máquina no processo de Ensino-aprendizagem de humanos. Sem antropocentrismos e fobias tecnológicas mas considerando o que foi exposto anteriormente e observando os seguintes pontos;

- O computador até o momento é a ferramenta mais poderosa que o homem já inventou e pode apoiar na ampliação de suas capacidades intelectuais;
- A IA é uma espécie de desejo de se reproduzir tarefas que diriam ser inteligentes se fossem desenvolvidas por seres naturais, porém não é possível fazer uma transição abrupta na consideração de coisas inteligentes e não inteligentes...
- A IA é um campo de estudo que esforça-se para explicar e emular o comportamento inteligente em termos de processos computacionais.

O mercado de trabalho atual está constantemente exigindo que seus profissionais não possuam somente a habilidade de memorizar fatos, mas também que tenham habilidade para aprender novos métodos e novas aptidões. O computador age como modificador de uma cultura e o Ensino proporcionado é dependente da modificação desta cultura. O grande aumento das necessidades educacionais na Sociedade contemporânea e a redução dos custos dos sistemas computacionais e das telecomunicações pode permitir o intercâmbio do conhecimento dentro dos centros de excelência, predominantemente costeiros, para a parte interior do Brasil.

Além das implementações ditas "clássicas" do computador no Ensino, tem-se atualmente as realizações de aprendizado na Internet via redes de computadores. A Internet oferece um ambiente de informação compartilhada com potencial para sistemas educacionais de diversos níveis de instrução. Também dentre suas inúmeras aplicações gerais, a IA tem-se mostrado uma poderosa ferramenta de Ensino. Por quê não ensiná-la utilizando suas próprias técnicas? E mais, por quê não ensiná-la utilizando a Internet que revolucionou a comunicação humana?

A utilização do ensino via computador com abordagens da IA pode ser uma forma de diversificar os instrumentos de apoio do ambiente e atendendo às necessidades pedagógicas e tecnológicas em questão. Um ponto central de sistemas de ensino considerados inteligentes para suporte ao aprendizado é sua adaptação às experiências requisitadas pelos estudantes. Vários paradigmas educacionais são atualmente interpretados para desenvolver elementos formais de sistemas baseados em raciocínio e decisão.

Os estudos sobre as teorias da aprendizagem são altamente relevantes para o desenvolvimento de sistemas de apoio educacional. Embora a tecnologia seja parte integrante da Informática Educativa, qualquer programa educacional que pretenda êxito, deverá focar as necessidades pedagógicas, sobrepostas à própria tecnologia. É também essencial considerar os fatores culturais e sócio-econômicos, interesses e experiências, níveis educacionais e familiaridade com os instrumentos utilizados pelos aprendizes.

Estas filosofias educacionais são geralmente interpretadas para oferecer os elementos formais de projetos de sistemas inteligentes. Um dos princípios dessa formalização é que as experiências educacionais promovidas por estes sistemas devem adaptar-se ao aprendiz em cada momento. Como resultado, muitos planejamentos instrucionais são concebidos com mecanismos computacionais que desenvolvem estas adaptações. Nestes sistemas, baseados mais em objetivos do que na natureza do conhecimento e seu significado, geralmente envolvem o segmento de uma seqüência de passos para gerarem as ações de adaptação. Em contraste com estes sistemas a abordagem Construtivista, que foi considerada no desenvolvimento deste trabalho, para a aprendizagem supõe que o conhecimento não pode ser objetivamente definido mas construído individualmente pelos aprendizes através de mundos experimentais.

A hipermídia permite relacionar os assuntos de muitas maneiras, onde os aprendizes também podem visualizar suas experiências. Existem numerosos problemas nestes sistemas, que, todavia, tem sido reduzidos. Um modelo teórico de hipermídia baseado na teoria de autômata inclui aspectos dinâmicos nestes sistemas e ampliam suas capacidades facilitando a criação de um ambiente exploratório onde o aprendiz pode construir seu conhecimento.

As idéias e metodologias da modelagem, da simulação e da IA tem sido combinadas a fim de que o computador possa ser uma ferramenta avançada para a modelagem dos sistemas físicos e do raciocínio que se tem sobre eles. Historicamente, a IA e simulação desenvolveram-se em linhas diferentes, mas pesquisas recentes têm combinado estas abordagens em uma variedade de áreas. Uma área bastante promissora é a utilização de simulação qualitativa para o Ensino utilizando IA. A simulação qualitativa está relacionada com declarações qualitativas que se faz a respeito da dinâmica de um sistema. Ela fornece uma descrição simbólica a respeito deste sistema, de uma maneira mais natural. Na IA existem diversos trabalhos que comprovam que em muitos casos a simulação qualitativa é superior a simulação quantitativa. Do ponto de vista da modelagem ela oferece a possibilidade de se saber algo a respeito do sistema antes dos valores quantitativos serem medidos ou estimados, ou quando o modelo é complexo demais para possuir uma solução analítica. Pode-se dizer que as simulações qualitativas e quantitativas são complementares. A

escolha de qual abordagem utilizar dependerá do domínio a ser estudado.

Este trabalho discutiu sobre os requisitos necessários para o projeto de um ambiente de Ensino via rede de computadores (Internet). Foi mostrado que os aspectos construtivos deste ambiente necessitam incorporar características pedagógicas mais adequadas. Através de um modelo teórico de hipermídia como autômata, conceitos pertinentes à IA, as possibilidades pedagógicas aumentam. O que pareceu ser um bom começo é o estudo da própria IA e suas possibilidades, a fim de que desenvolvimentos futuros de um Laboratório Virtual para Ensino de IA incorporem além dos aspectos psico-pedagógicos e dinâmicos de um sistema hipermídia em rede de computadores como autômata, as interações e técnicas de IA com simulações qualitativas. Para isso, a temática escolhida foi o Ensino das RNA. Então chega-se a conclusão que a atividade inteligente no Ensino pode sim, ser parcialmente artificial.

No âmbito do Ensino de RNA via Web, não foi encontrado, até o momento, nenhum relato de trabalho similar, em nenhuma instituição de Ensino brasileira. Além disso, a aplicação em campo na UNIVALE, observando as diferenças regionais entre os estudantes, parece favorecer o que se chama de “difusão do conhecimento” que está sendo irradiado pela UFSC, uma das melhores universidades do Brasil. É uma experiência inovadora para o CPGCC, isto significa que a contribuição deste trabalho é relevante não só em termos tecnológicos mas também em termos sociais.

# Glossário

**“links”:** *vínculos, conexões.* Nas páginas da Web, um vínculo (“link”) de hipertexto, um botão ou trecho destacado do texto que, ao ser selecionado, remete o leitor a uma outra página.

**“on-line”:** 1. Conectado na rede em um dado momento; 2. Disponível para solicitações de rede; 3. Termo que designa uma pessoa que está participando de um *bate-papo* (“chat”).

**“site”:** Um local na Internet que permite algum tipo de acesso remoto, tal como FTP, Telnet, etc.

**“Webmails”:** Serviço no qual o usuário acessa contas de correio eletrônico em endereço com o próprio navegador em um endereço na Web.

**Agente:** um programa de área de trabalho ou de rede que desenvolve uma série de tarefas sem intervenção humana.

**Cibernética:** Termo criado por Wiener [127], derivado da palavra grega *Kubernetes*, que significa “piloto”, “timoneiro” ou “governador”. A Cibernética envolve teoria da informação, desenvolvimento de computadores, autômatos e teorias de métodos científicos para o estudo da comunicação, controle e tratamento das informações.

**Conectividade:** O termo geralmente refere-se às redes de comunicação ou a comunicação entre terminais.

**FTP:** “File Transfer Protocol”. É o protocolo de transferência de arquivos da Internet. Um exemplo é o protocolo TCP/IP para transferência de arquivos da Internet, entre quaisquer plataformas.

**GUI:** Um ambiente ou sistema operacional que mostra na tela do computador representações gráficas como ícones, símbolos, janelas de opções ou escolha, etc.

**Interface ergonômica:** Procedimentos, códigos e protocolos que habilitam uma melhor interação homem-máquina. De modo simplista, a Ergonomia é a ciência que estuda as técnicas para melhoria da interação homem-máquina.

**Java:** Originada do navegador de WWW da Sun Microsystems que pode executar pequenos programas diretamente das páginas Web, escrita em linguagem Java.

**LOGO:** É uma linguagem de programação, interpretada, que favorece a aprendizagem por exploração e descoberta. Foi concebida por Papert [94].

**Mecanismo de busca:** Termo que designa programas, interfaces ou ferramentas que facilitam o processo de busca de informações específicas em um banco de dados, documento ou outra fonte, geralmente através da especificação de palavras-chave a serem encontradas.

**Menu:** Uma lista de opções disponíveis a um usuário. As opções podem geralmente ser escolhidas com a ajuda do “mouse” ou outro dispositivo de indicação ou mesmo através de digitação do número do item desejado.

**Realidade Virtual:** Uma realidade artificial que projeta o usuário dentro de um espaço tridimensional gerado pelo computador.

**Servidor ou “server”:** Um aplicativo de rede ou computador que fornece informações ou outros recursos a aplicativos clientes que se conectam a ele. Em redes convencionais o termo *servidor* geralmente se refere a um computador; no caso de aplicativos cliente-servidor da Internet, normalmente se refere a um programa. Muitos recursos da Internet são fornecidos por servidores: servidores de arquivos (“file servers”), de correio (“e-mail”), Web, FTP, etc.)

**URL:** “Uniform Resource Locator” - Padronização de endereço localizado na Internet.

**Virtual:** Dito de algo que existe somente em “software”, não fisicamente.

**VRML:** É uma linguagem de programação padrão, desenvolvida pela Silicon Graphics Inc., para simplificar a representação de objetos tridimensionais na Internet.

**Web browser:** Programa que acessa e recebe informações na WWW. Ex: Netscape.

# Apêndice A

## Endereços relacionados na Web

### Agentes

- “Agents Project”:  
*<http://www.pcug.org.au/~kauer/project/main.htm>*
- “The Agent Society”:  
*<http://www.agent.org>*
- “MIT Media Lab’s Software Agents Group”:  
*<http://agents.www.media.mit.edu/groups/agents>*
- “Agent Specification”:  
*<http://drogo.cselt.stet.it/fipa/spec/httoc.htm>*
- “Intelligent Agents”:  
*<http://www.doc.mmu.ac.uk/STAFF/mike/ker95/ker95-html.html>*
- “Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA)”:  
*<http://drogo.cselt.stet.it/fipa>*
- “Generic framework for developing agents in Java”:  
*<http://www.opengroup.org/RI/java/moa>*
- “University of Michigan’s Distributed Intelligent Agents Group”:  
*<http://ai.eecs.umich.edu/diag/homepage.html>*

## Educação a Distância

- “Noções de Educação a Distância”:  
*<http://www.ibase.org.br/~ined/ivonio.html>*
- “The Evolution of Distance Learning”:  
*<http://sqzm14.ust.hk/distance/evolution-distance-learning.html>*
- “Institute for Distance Education”:  
*<http://www.dev.umuc.edu/ide/mod/menu.html>*
- “Issues in Distance Learning”:  
*<http://www.cudenver.edu/public/education/edschool/issues.html>*

## Ensino na Web

- “The World Lecture Hall”: *<http://www.utexas.edu/world/lecture>*
- “Computer-Supported Intentional Learning Environments”:  
*<http://csile.oise.on.ca/demo.html>*
- “LearningSpace”: *<http://www.lotus.com/home/nsf/tabs/learnspace>*
- “Study Web”: *<http://www.studyweb.com>*
- “Using a Web site to facilitate the learning process: a college professor’s experience”:  
*[http://leahi.kcc.hawaii.edu/org/tcc\\_conf97/pres/gravelle.html](http://leahi.kcc.hawaii.edu/org/tcc_conf97/pres/gravelle.html)*
- “Adapting teaching strategies in intelligent tutoring systems”:  
*<http://advelearn.lrdc.pitt.edu/its-arc/papers/woods.html>*
- “AulaNet”: *<http://aulanet.les.inf.puc-rio.br/aulanet/>*
- “Curso de Filtragem Digital de Sinais Biomédicos”:  
*<http://www.inf.ufsc.br/mafa/fdsb.html>*

## Inteligência Artificial

- “Intro to AI”: <http://tqd.advanced.org/2705/>
- “AI - Education”: <http://www.cis.temple.edu/ugai/ugai95.html>
- “AI Virtual Library”: <http://www.cs.reading.ac.uk/people/dwc/ai.html>
- “AI Programming”:  
<http://www.amazon.com/exec/obidos/ISBN=0898596092/6276-3025864-072092>
- “Java and AI”:  
<http://www.cyberus.ca/~rehan/JavaAI.html>
- “AI Java Applets”:  
<http://www.cis.temple.edu/ugai/javademos.html>
- “Artificial Life”:  
<http://mitpress.mit.edu/journal-home.tcl?issn=10645462>
- “Laboratório de Sistemas de Conhecimento - CPGCC”:  
<http://www.lsc.inf.ufsc.br>
- AI History  
<http://www.cs.pitt.edu/~peterson/html/bbhist.html>

## Realidade Virtual

- “A conceptual basis for educational applications of virtual reality”:  
<http://www.hitl.washington.edu/projects/education/winn/winn-R-93-9.txt>
- “Virtual Environments Technology Lab”: <http://www.vetl.uh.edu/>
- “SEG Virtual Museum”: <http://seg.org/museum/VM>

# Índice Remissivo

- Abordagem Conexcionista, 35
- agente especialista, 29
- agente espelho do especialista, 29
- agente espelho do estudante, 29
- agente estudante, 29
- agente interface com o usuário, 30
- agente tutor, 29
- Alan Turing, 18
- alfabeto de entrada, 64
- alfabeto de saída, 65
- algoritmos de aprendizado, 77
- Ambiente de Ensino-aprendizagem, 3
- ambiente exploratório, 46
- ambientes de aprendizagem, 13, 46
- animações, 43
- apoio educacional, 82
- Aprender, atividade inteligente, 81
- aprendiz, 75
- Aprendizado de Máquina, 35
- aprendizagem cooperativa em ambientes distribuídos, 51
- aprendizes, 82
- aspectos psico-pedagógicos, 44
- autômata, 62
- autômata finito, 62
  
- Ciência Cognitiva, 15
- Ciência da Computação, 3, 61
- Cibernética, 22, 35
- ciclo de vida, 72
- computador, 14
- comunicação, 49
  
- conhecimento, 51
- conhecimento dedutivo, 14
- conhecimento fatural, 14
- conhecimento hábil, 14
- conjunto de nós, 65
- Construtivismo, 33, 45
- CPGCC, 13, 68
  
- definição teórica de Hipermissão, 59
- diálogo, 49
  
- Educação a Distância, 12
- Ensino, 1, 14
- Ensino-aprendizagem, 43
- estado, 64
- estado inicial, 64
- estratégias de ensino, 26
  
- ferramenta, 82
- função de transferência, 38
- função de transição, 64
- função de transição de estados, 60
- funções de ativação, 38
  
- grafo, 63
- grafo orientado, 63
- GUIDON, 33
  
- Hipermissão x Ensino de RNA: usando redes de computadores, 70
- hipermissão, 2, 43
- hipertexto, 2, 43, 64
- Hipertexto como autômata, 64
- Hipertexto x Ensino de RNA, 68

- HTML, 43
- IA, 3
- IA distribuída, 29
- implementação, 68
- Informática Educativa, 82
- inteligência, 23, 81
- Inteligência Artificial, 14
- Inteligência Artificial Conexionista, 34
- Inteligência Artificial Construtivista, 33
- interface, 44
- Internet, 43
- ITS, 28
- Java, 58
- Lógica, 15
- Laboratório Virtual para Ensino de IA, 83
- Lingüística, 28
- linguagens de roteiros, 77
- máquina de estados finitos, 61
- Método Lúdico, 76
- modelagem, 82
- modelo da matéria, 26
- modelo do aluno, 26
- modelo matemático do neurônio, 37
- modelo mental, 29
- multimídia, 43
- MYCIN, 33
- navegação, 44
- navegador, 77
- neurônio, 35
- objetivos, 4
- origens da IA, 15
- paradigma de agentes, 44
- parcialmente artificial, 81
- Pedagogia, 28
- Perceptron, 19
- PGEEL, 68
- Piaget, 30, 46
- práticas e experimentações, 72
- professor, 29
- programas de simulação, 54
- programas educacionais, 2
- protótipo, 70
- Psicologia, 15, 28, 72
- Realidade Virtual, 3
- rede de computadores, 43
- Redes Neurais, 35
- RNA, 35, 77
- RV, 43
- SE e o ensino com computador, 33
- Simbólica Inteligência Artificial Simbólica, 34
- simulação, 25
- Simulação e IA, 55
- simulação e IA, 25
- simulações, 43, 54
- simulações em Java, 77
- sistema atingível, 66
- sistema de ensino inteligente auxiliado por computador, 27
- Sistema Dinâmico, 60
- Sistema Dinâmico Contínuo no Tempo, 60
- Sistema Dinâmico Discreto no Tempo, 61
- sistema estacionário, 61
- sistema funcional temporal, 60
- Sistema Invariante no Tempo, 61
- sistema invariante no tempo, 61
- sistema observável, 66
- sistemas tutoriais inteligentes, 27
- Sociedade, 6

sons, 43

tarefas, 49

tecnologia, 82

Teoria de Autômata, 59

teorias da aprendizagem, 82

Teste de Turing, 18

transição de estados, 62

tutoriais, 46

UFSC, 13, 68

unidade de informação, 66

UNIVALE, 71

universidade, 11

vídeos, 43

virtual, 44

VRML, 43

Web, 43

WWW, 43

## Referências Bibliográficas

- [1] AKHARAS, F. From the process of instruction to the process of learning: Constructivist implications for the design of intelligent learning environment. URL: <http://www.cbl.leeds.ac.uk/~fabio/home.html>. Computer Based Learning Unit, University of Leeds, Leeds, England, 1996.
- [2] ALMEIDA, M. A. F. Filtragem digital de sinais biomédicos. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica - UFSC, Florianópolis, fevereiro de 1997.
- [3] ALMEIDA, M. A. F. & BARRETO, J. M. Ferramenta computacional para filtragem de sinais biomédicos. In: *Anais da 49ª Reunião Anual da SBPC*, Belo Horizonte, julho de 1997, p. 49.
- [4] ALMEIDA, M. A. F. & BARRETO, J. M. Filtragem não causal de sinais de urofluxometria. In: *Anais da 49ª Reunião Anual da SBPC*, Belo Horizonte, julho de 1997, p. 48-49. A3-005.
- [5] ALMEIDA, M. A. F. & BARRETO, J. M. Ambiente para ensino do projeto de filtros digitais no domínio do tempo: aplicação a sinais de eletrocardiografia. In: *Anais do IV FNCTS - Fórum Nacional Ciência e Tecnologia em Saúde*, Curitiba, Paraná, outubro de 1998, p. 407-408. ISBN:85-7014-006-1.
- [6] ALMEIDA, M. A. F. & BARRETO, J. M. Filtragem digital de sinais biomédicos. In: *Caderno de Engenharia Biomédica*, vol. 14. Rio de Janeiro, Revista Brasileira de Engenharia - RBE, 1998. ISSN: 0102-2644 - Resumo de Teses.
- [7] ALMEIDA, M. A. F. & BARRETO, J. M. Filtragem não causal de sinais de urofluxometria. In: *1er Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica*, Mazatlan, México, noviembre, 1998, p. 729-732. ISBN:968-5063-00-1.
- [8] ALMEIDA, M. A. F. & BARRETO, J. M. Apoio ao ensino de redes neurais artificiais via computador. In: *XXII Congreso Argentino de Bioingeniería - SAB199*, Universidade de Favaloro, Argentina, junho de 1999. (CD-ROM(101/3)-(10998-ARGENDISK)).

- [9] ALMEIDA, M. A. F.; BARRETO, J. M. & CASTRO, A. C. R. Non causal filtering in urofluxometry. In: *XVIII International Conference on Medical and Biological Engineering and XI International Conference on Medical Physics*, Nice, France, september, 1997, p. 549. F83-PS1.04.
- [10] ALMEIDA, M. A. F.; BARRETO, J. M. & LIMA, W. C. Ensino de filtragem digital de sinais biomedicos via rede de computadores. In: *Primer Congreso Peruano de Ingeniería Biomédica*, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, setiembre, 1999, p. 45-47.
- [11] ALMEIDA, M. A. F.; BARRETO, J. M. & SANTOS, M. M. D. Um ambiente computacional para ensino de redes neurais artificiais. In: *Anais da 51ª Reunião Anual da SBPC*, Porto-Alegre, julho de 1999.
- [12] ALMEIDA, M. A. F.; BARRETO, S. Q.; CORRÊA, M. C. O. B. & SOUZA, L. L. Aprendizado cooperativo utilizando construtivismo e redes de computadores no ensino a distância. In: *Anais da 51ª Reunião Anual da SBPC*, Porto Alegre, julho de 1999.
- [13] ARBIB, M. A. *Handbook of Physiology - The Nervous System II*, cap. 33. Am. Phys. Soc., 1981.
- [14] BARR, A. & FEIGENBAUM, E. *Handbook of Artificial Intelligence*, vol. 2, cap. 9. Califórnia, USA : Heuristech Press, 1982.
- [15] BARRETO, J. M. Notas de aulas da disciplina lógica nebulosa. Mestrado em Engenharia Elétrica - GPEB-UFSC, 1995.
- [16] BARRETO, J. M. Notas de aulas da disciplina modelagem e simulação de sistemas físicos e biológicos. Mestrado em Engenharia Elétrica - GPEB-UFSC, 1995.
- [17] BARRETO, J. M. *Inteligência Artificial no Limiar do Século XXI*. Florianópolis, SC : Duplic, 1ª ed., 1997.
- [18] BARRETO, J. M. Introdução às redes neurais artificiais. In: *V Escola Regional de Informática da SBC Regional Sul*, Santa Maria, Florianópolis, Maringá, maio de 1997, p. 41-71.
- [19] BARRETO, J. M. *Inteligência Artificial no Limiar do Século XXI*. Florianópolis, SC : Duplic, 2ª ed., 1999. Preprint.
- [20] BARRETO, J. M. & LEFÈVRE, J. The physiology of a simulation program. In: *Anais do IV Encontro Nacional de Automática*, Florianópolis, julho 1983.

- [21] BARROS, L. A. & DA SILVA BORGES, M. R. ARCOO - sistema de apoio à aprendizagem cooperativa distribuída. In: *VI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, Florianópolis, 1995, p. 88-100.
- [22] BARRY, D. & STANIENDA, T. Solving the JAVA storage problem. *IEEE Computer*, vol. 31, no. 11, November 1998.
- [23] BAUDEL, B. & CANTEGRIT, E. Smalltalk and simulation of batch-processes. In: *Artificial Intelligence, Expert Systems and Languages in Modelling and Simulation- IMACS*, C. A. Kulikowoski, H. M. R., & G. A. Ferraté, Eds. North-Holland, Elsevier Science Publishers B. V., 1988.
- [24] BRENT, W. *Reflections on Constructivism and Instructional Design*, vol. 2, p. 12-21. Englewood Cliffs, NJ : Educational Technology Publications, 1997.
- [25] BROFERIO, S. C. A. University distance lesson system. *IEEE Transactions on Education*, vol. 41, no. 1, february, 1998.
- [26] BUCHANAN, B. G. Brief History of Artificial Intelligence by Bruce Buchanan. URL: <http://www.cs.pitt.edu/~peterson/html/bbhist.html>. University of Pittsburgh, 1998.
- [27] CARBONELL, J. AI in CAI- An artificial intelligence approach to computer assisted instruction. *IEEE Transaction on Man-Machine Systems*, vol. 11, no. 1, 1998.
- [28] CARDOSO, L. N.; ALMEIDA, M. A. F. & STEIN, M. G. F. Tutorial hipertexto sobre o manuseio do livro didático. In: *Anais da 5ª Reunião Especial da SBPC*, Blumenau, setembro de 1997, p. 207. B-6.024.
- [29] CARLSON, B.; BURGESS, A. & MILLER, C. Timeline of computing history. URL: <http://www.computer.org/computer/timeline/>. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1996.
- [30] CHOU, C. E. A. Construction of a Virtual Reality Learning Environment for teaching structural analysis. In: *Computer Applications in Engineering Education*, M. F. Iskander, Ed., vol. 5. Wiley-Interscience, 1997.
- [31] CLANCEY, W. J. *Knowledge-Based Tutoring - The GUIDON Program*. Cambridge, Massachussets : The MIT Press, 1987.
- [32] CLAUDE, G. *L'électricité à La portée de tout le monde - Le radium*. Paris : Vve. Ch. Dunod, 1906.

- [33] COSTELLA, A. *Comunicação - Do Grito ao Satélite*. São Paulo : Editora Mantiqueira, 1984.
- [34] DAYHOFF, J. E. *Neural Networks Architectures*. New York, USA : Van Nostrand Reinhold, 1992.
- [35] DEDEN, A. Computers and systemic change in higher education. *Communications of the ACM*, vol. 41, no. 1, january, 1998.
- [36] DOPPKE, J. C.; HEIMBGNER, D. & ALEXANDER, L. Software process modeling and execution within virtual environments. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, vol. 7, no. 1, january, 1998.
- [37] DOUKIDIS, G. I. Using LISP for developing discret events simulations models. In: *Artificial Intelligence, Expert Systems and Languages in Modelling and Simulation*, M. R. H. C. A. Kulikowski & G. A. Ferraté, Eds. North-Holland, Elsevier Science Publishers B. V., IMACS, 1988.
- [38] DRESCHER, G. Genetic AI - translating Piaget into LISP. Relatório Técnico. 890, Massachusetts Institute of Technology - Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts, USA, February, 1986. AI-MEMO.
- [39] DUMM, T. An introduction to the science of artificial intelligence by tim dumm. URL: <http://tqd.advanced.org/2705/index.html>. 1997.
- [40] EL-REWINI, H. & MULDER, M. C. Keeping pace with an information society. *IEEE Computer Innovative technology for computer professionals*, vol. 30, no. 11, November, 1997.
- [41] FERNANDES, C. T. & SANTOS, N. Pesquisa e Desenvolvimento em informática na Educação no Brasil - Parte I. *Revista Brasileira de Informática na Educação - RBIE*, no. 4, abril de 1999.
- [42] FERNANDES, C. T. & SANTOS, N. Pesquisa e Desenvolvimento em informática na Educação no Brasil - Parte II. *Revista Brasileira de Informática na Educação - RBIE*, no. 5, julho de 1999.
- [43] FISHWICK, P. A. Web-based simulation: Some personal observations. *1996 Winter Simulation Conference*, no. 1, december, 1996.
- [44] FLEISCHHAUER, L. I. A.; BARBOSA, A. C. G.; VAVASSORI, F. B. & GAUTHIER, F. A. O. A experiência de criação de um curso através de software de

- autora o de multim dia: Uma introdução. In: *ANAIS do III Congresso Argentino de Ciência de la Computacion (CACIC)*, La Plata, Argentina, 1997, vol. 2, p. 812-821.
- [45] FOGEL, D. B. Genetic algorithms. *Scientific American*, no. 267, July, 1992.
- [46] FOGEL, D. B. *Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence*. IEEE Press, 1995.
- [47] FORESTER, T. & MORRISON, P. *Computer Ethics*. Massachusetts : The MIT Press, 3ª ed., 1995.
- [48] FREEMAN, J. A. & SKAPURA, D. M. *Neural Networks: algorithms, applications, and programming techniques*. USA : Adisson-Wesley Publishing Company, Inc., 1992.
- [49] FREIRE, P. *Educação como prática da liberdade*. Rio de Janeiro, RJ : Editora Paz e Terra, 1986.
- [50] FRIEDMAN, N. & HAFNER, C. The state of the art in ontology design: A survey and comparative review. *AI Magazine*, vol. 18, no. 3, 1997.
- [51] FRÖLICH, J. Neural Net components in an Object Oriented Class structure. URL: <http://r.fhs8012.fh-regensburg.de/~saj39122/j.froehl/diplom/e-index.html>. Department of Computer Science, Fachhochschule Regensburg, Germany, 1997.
- [52] FUTO, I. H. AI and simulation Prolog basis. In: *Artificial Intelligence, Expert Systems and Languages in Modelling and Simulation, IMACS*, C. A. Kulikowski, H. M. R., & G. A. Ferraté, Eds. North-Holland, Elsevier Science Publishers B. V., 1988.
- [53] GALLANT, S. Connectionist expert systems. *Communications of the ACM*, vol. 31, no. 2, 1988.
- [54] GIL, S. Q.; SOUZA, L.; FIALHO, F. P. & ALMEIDA, M. A. F. A vida pede licença para entrar na escola. In: *Anais da 49ª Reunião Anual da SBPC*, Belo Horizonte, julho de 1997. B-6.192.
- [55] GOLDEN, R. M. *Mathematical Methods for Neural Network Analysis and Design*. Massachusetts : The MIT Press, 1996.
- [56] GOODWING, N. C. Functionality and usability. *Communications of the ACM*, vol. 30, no. 3, march, 1987.

- [57] GUYTON, A. C. *Fisiologia Humana e Mecanismos das Doenças*. Rio de Janeiro, RJ : Guanabara Koogan S.A., 1989.
- [58] GUYTON, A. C. & HALL, J. E. *Textbook of Medical Physiology*. Philadelphia, Pennsylvania : W.B. Saunders Company, 1996.
- [59] HEBB, D. *Psicologia*. São Paulo : Livraria Atheneu, 2ª ed., 1979.
- [60] HERGENHAHN, B. R. *An Introduction to Theories of Learning*. Englewood Cliffs, N. J. : Prentice-Hall, Inc., 1982.
- [61] HOLLAND, J. H. *Adaptation in natural and artificial systems*. Ann Arbor, MI : The University of Michigan Press, 1981.
- [62] HYMAN, R. A. The Babbage pages - Charles Babbage and Ada Lovelace - biography. [http : //www.ex.ac.uk/BABBAGE/welcome.html](http://www.ex.ac.uk/BABBAGE/welcome.html), 1997.
- [63] IBM. The Aglet Workbench. [http : //www.trl.ibm.co.jp/aglets](http://www.trl.ibm.co.jp/aglets), 1999.
- [64] JONES, R. T. & LAIRD, J. D. *Simulation of the Human Aorta for the Purpose of Studying Artificial Blood Pumps*. New York : Spartan Books, 1967.
- [65] KAPLAN, E. History of Calculating Machines - introduction. URL: [http : //www.webcom.com/calc/](http://www.webcom.com/calc/). 1996.
- [66] KAPLAN, R. & ROCK, D. New directions for intelligent tutoring. *Artificial Intelligence Expert*, vol. 5, no. 2, february, 1995.
- [67] KASABOV, N. K. *Foundations of neural networks, fuzzy systems, and knowledge engineering*. Massachusetts, USA : The MIT Press, 1996.
- [68] KINIRY, J. & ZIMMERMANN, D. A hands-on look at java mobile agents. *IEEE - The Internet Computing*, vol. 1, no. 4, August 1999.
- [69] KREUTZ, L. S. Sistema de Ensino de Fisiologia Cardíaca - INE - UFSC. URL: [http : //www.inf.ufsc.br/~schuch](http://www.inf.ufsc.br/~schuch). Departamento de Informática e de Estatística - INE-UFSC, 1998.
- [70] KRÖSE, B. J. A. & VAN DER SMAGT, P. P. *An Introduction to Neural Networks*. University of Amsterdam, 5ª ed., January, 1993.
- [71] LEFÈVRE, J. & BARRETO, J. M. Didatic microcomputer simulation in cardiac dynamics. In: *5 th Annual Conference on Frontiers of Engineering in Health Care (IEEE)*, Columbus, Ohio, EUA, 1983. Resumo no IEEE Trans. Biomedical Engineering, v. BME-3,0 p. 512.

- [72] MAHAJAN, R. & SHNEIDERMAN, M. Visual and textual consistency checking tools for graphical user interfaces. *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 23, no. 11, 1997.
- [73] MAMROUD, Y. Artificial Intelligence - History, Philosophy and Practice. URL: <http://royce-ap.com/ai/links.html>. Philosophy Department, Tel Aviv University, 1999.
- [74] MAULSBY, D. & WITTEN, I. H. Teaching agents to learn: From user study to implementation. *Computer*, vol. 30, no. 11, 1997.
- [75] MAYES, J. T. *Cognitive Tools: a suitable case for learning*. Heidelberg : Springer-Verlag, 1992.
- [76] MCCARTHY, J. A proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence - John McCarthy, august, 1955. URL: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html>. 1996.
- [77] MCCULLOCH, W. S. & PITTS, W. H. A logical calculus of ideas immanent in nervous activity. *Bull. of Mathematical Biophysics*, no. 5, 1943.
- [78] MEDLER, D. A. A Brief History of Connectionism. URL: [http://www.icsi.berkeley.edu/~jagota/NCS/VOL1/P3\\_html/vol1\\_3.html](http://www.icsi.berkeley.edu/~jagota/NCS/VOL1/P3_html/vol1_3.html). 1999.
- [79] MINSKY, M. L. & PAPERT, S. A. *Perceptrons: an introduction to computational geometry*. Massachussets : The MIT Press, 1969.
- [80] MINSKY, M. L. & PAPERT, S. A. *Perceptrons: an introduction to computational geometry*. Massachussets : The MIT Press, 3ª ed., 1988. Impressão modificada do original de 1969.
- [81] MOFFET, S. E. A. *Fisiologia Humana*. Rio de Janeiro, RJ : Guanabara Koogan S.A., 1993.
- [82] NADEAU, D. R. Building virtual worlds with VRML. In: *IEEE Computers Graphics and Applications*, J. J. Thomas, Ed., vol. 19. Los Alamitos, CA, USA, IEEE Computer Society, April 1999.
- [83] NICOLACI-DA COSTA, A. M. *Na malha da Rede - Os impactos íntimos da Internet*. Rio de Janeiro : Editora Campus, 1998.

- [84] NIEVOLA, J. C. *Sistema Inteligente para Auxílio ao Ensino em Traumatologia Crânio-Encefálica*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 1995.
- [85] NILSSON, N. J. Artificial intelligence: A new synthesis. URL: <http://www.cs.utu.fi/knuutila/courses/ai/98/>. 1998.
- [86] PAGANO, R. & BARRETO, J. M. Hypermedia supporting a psychodramatic experience: a case study. In: *Proceedings of 8th ICTE'91 - The Eighth International Conference on Technology and Education*.
- [87] PAGANO, R. & BARRETO, J. M. Hypertext information technology in medical education. In: *Proceedings of 6th Mediterranean Electrotechnical Conference - IEEE-MELECON'91*.
- [88] PAGANO, R. & BARRETO, J. M. Laboratory experiment simulation in electrical engineering education. In: *Proceedings of ESC'89 - 3rd European Simulation Congress*, Edinburgh, September, 1989, p. 311-317.
- [89] PAGANO, R. & BARRETO, J. M. Psychodrame pédagogique et hypermédia. In: *Proceedings of Sixième Congrès APTLF*, Brussels, May, 1990.
- [90] PAGANO, R. & BARRETO, J. M. A theoretical model of hipertext. In: *Proceedings of AINN'90 - International Conference of Artificial Intelligence Applications and Neural Networks*, Zurich, 1990, Acta Press, M.H. Hanza Edition, p. 10-15.
- [91] PAGANO, R. L. *Computer Simulation as an educational tool*. Tese de Doutorado, Faculty of Applied Sciences, University of Louvain la Neuve, Belgium, 1992.
- [92] PALINSCAR, A. S. & BROWN, A. L. Reciprocal teaching of comprehension fostering and comprehension-monitoring activities. *Cognition and Instruction*, vol. 1, no., 1984.
- [93] PANTELIDIS, V. S. Virtual Reality and Engineering Education. In: *Computer Applications in Engineering Education*, M. F. Iskander, Ed., vol. 5. Wiley-Interscience, 1997.
- [94] PAPERT, S. *A máquina das crianças: repensando a Escola na era da Informática*. Porto Alegre, RS : Artes Médicas, 1994.
- [95] PIAGET, J. *A construção do real na criança*. Rio de Janeiro : Zahar Editores, 1963.

- [96] PIAGET, J. *O julgamento moral na criança*. São Paulo : Editora Mestre Jou, 1977.
- [97] PIAGET, J. *The Equilibrium of Cognitive Structures: The Central Problem in Cognitive Development*. Chicago, Illinois : University of Chicago Press, 1985.
- [98] PILKINGTON, R. & GRIERSON, A. Generating explanations in a simulation-based learning environment. *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 45, no., 1996.
- [99] RAMIREZ POZO, A. T. *Um Sistema de Ensino Inteligente via Sociedade de Multi-agentes aplicado ao diagnóstico de Epilepsia*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 1996.
- [100] RAMOS, E. M. F. *Análise ergonômica do sistema hiperNet buscando o aprendizado da cooperação e da autonomia*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 1996.
- [101] RAUGHUNATHAN, S. Qualitative reasoning about approximations in quantitative modeling. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, vol. 27, no. 5, september, 1997.
- [102] REZABEK, L. L. Distance education and telecommunications technologies: lessons for educators. In: *The Ninth International Conference on Technology and Education*, March 1992, N. Estes & M. Thomas, Eds., vol. 3.
- [103] RICH, E. & KNIGHT, K. *Inteligência Artificial*. São Paulo : Makron Books, 2ª ed., 1994.
- [104] ROSENBLATT, F. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, no. 65, 1958.
- [105] ROSNAY, J. History of cybernetics and systems science. URL: [http : //pespmc1.vub.ac.be/CYBSHIST.html](http://pespmc1.vub.ac.be/CYBSHIST.html). 1996.
- [106] RUSSEL, S. J. & NORVIG, P. *Artificial Intelligence: a modern approach*. London, UK : Prentice Hall, 1ª ed., 1995.
- [107] SALLES, P. E. A. Deriving explanations from qualitative models. In: *Proceedings of the 8th World Conference on Artificial Intelligence in Education*, Japan, august, 1997, p. 474-481.

- [108] SCARDAMALIA, M.; BEREITER, C. & STEINBACH, R. Teachability of reflective processes in written composition. *Cognitive Science*, vol. 8, no., 1984.
- [109] SHANNON, C. E. & MCCARTHY, J. *Automata Studies*. New Jersey : Princeton University Press, 1956.
- [110] SHERRY, L. & MORSE, R. An assessment of training needs in the use of distance education for instruction. *International Journal of Educational Telecommunications*, vol. 1, no. 1, 1995.
- [111] SINGH, M. P. & HUHNS, M. N. Internet-based agents: applications and infrastructure. *The Internet Computing*, vol. 1, no. 4, August 1997.
- [112] SKINNER, B. F. *Science and human behavior*. New York : The Macmillan Company, 1953.
- [113] SOWA, J. F. *Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine*. New York, USA : Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1984.
- [114] TANENBAUM, A. S. *Redes de Computadores*. Editora Campus, 2ª ed., 1994.
- [115] TARBY, J. C. The human-computer dialogue in learning environments. *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 5, no. 1, february, 1997.
- [116] TOYNBEE, A. *A Sociedade do Futuro*. Rio de Janeiro : Zahar Editores, 1974.
- [117] TWIGGER, D. E. A. The conceptual change in science project. *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 7, no., 1991.
- [118] ULBRICHT, V. R. Modelagem cognitiva em concepção do módulo de avaliação do estudante de um sistema de ensino inteligente auxiliado por computador para a geometria descritiva. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 1992.
- [119] ULBRICHT, V. R. *Modelagem de um ambiente hipermídia de construção do conhecimento em Geometria Descritiva*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 1997.
- [120] ULBRICHT, V. R. VISUAL GD: ambiente hipermídia para geometria descritiva. *Revista Graf & Tec*, vol. 2, no. 1, julho 1997.

- [121] VANGHELUWE, H.; BARRETO, J. M. & VANSTEENKISTE, G. C. *Application of a Multifaceted Modelling Methodology: An Example in Physiology*, p. 233-238. IMACS, 1991.
- [122] VAVASSORI, F. B. & GAUTHIER, F. A. O. Uma estrutura de ferramentas e agentes para um ambiente de ensino/aprendizagem na web. In: *III Congreso Internacional y Exposición de Informática e Internet (INFONET'98) (CD-ROM)*, Mendoza, Argentina, 1998.
- [123] VETTER, R. & SEVERANCE, C. Web-based education experiences. *IEEE-Computer*, vol. 30, no. 11, November 1997. Edição especial: The Changing Face of Education.
- [124] WANG, H. Intelligent agents in the nuclear industry. *IEEE Computer*, vol. 30, no. 11, November 1997.
- [125] WATERS, C. The programmer's apprentice project: A research overview. Relatório Técnico. 1004, Massachusetts Institute of Technology - Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts, USA, November 1987. AI-MEMO.
- [126] WAZLAWICK, R. S. *Um Modelo Operatório para Construção de Conhecimento*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 1993.
- [127] WIENER, N. *Cibernética e Sociedade*. Ed. Cultrix, 1954.
- [128] WINSTON, P. *Inteligência Artificial*. São Paulo, SP : LTC, 1981.