

**Andréa Teresa Riccio Barbosa**

**MECANISMO DE ADAPTAÇÃO  
BASEADO EM REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS  
PARA SISTEMAS HIPERMÍDIA ADAPTATIVOS**

**FLORIANÓPOLIS  
2004**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MECANISMO DE ADAPTAÇÃO  
BASEADO EM REDES NEURAIS ARTIFICIAIS  
PARA SISTEMAS HIPERMÍDIA ADAPTATIVOS**

Tese submetida à  
Universidade Federal de Santa Catarina  
como parte dos requisitos para a  
obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica .

**Andréa Teresa Riccio Barbosa**

Florianópolis, novembro de 2004

**MECANISMO DE ADAPTAÇÃO**  
**BASEADO EM REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**  
**PARA SISTEMAS HIPERMÍDIA ADAPTATIVOS**

Andréa Teresa Riccio Barbosa

‘Esta Tese foi julgada adequada para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia Elétrica , Área de Concentração em Sistema de Informação, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina’

---

Fernando Mendes de Azevedo, D. Sc.  
Orientador

---

Denizar Cruz Martins, Dr.  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Elétrica

**Banca Examinadora:**

---

Fernando Mendes de Azevedo, D. Sc.  
Presidente

---

José Palazzo Moreira de Oliveira, D.Sc.

---

Júlio César Nievola, Dr.

---

Anita Maria da Rocha Fernandes, Dra.

---

Jefferson Luiz Brum Marques, Ph.D.

---

Renato Garcia Ojeda, Dr.

# AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Catarina, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e, em especial, ao Instituto de Engenharia Biomédica pela oportunidade de desenvolvimento profissional.

Ao Professor Fernando Mendes de Azevedo, pela orientação no desenvolvimento da Tese, pelo incentivo nos momentos difíceis e pela amizade em todos estes anos de convívio.

A todos os professores, funcionários, colegas e amigos do Instituto de Engenharia Biomédica.

Aos professores membros da banca pelas sugestões.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

A Felipe Chaves Santos pela colaboração no desenvolvimento de um dos programas na linguagem Java Server Pages.

A todos os profissionais, das diversas áreas, que colaboraram realizando os testes do sistema hipermídia adaptativo desenvolvido.

Ao meu companheiro, Fábio Iaione, pela ajuda, pela paciência, pelo carinho e pelo incentivo, que me fizeram acreditar que tudo é possível.

Aos meus pais, Woulfson e Cléa, pelo apoio constante, incentivo, amor e exemplo de vida.

Às minhas irmãs, Patrícia e Paula, pela amizade.

A Deus, criador de tudo e fonte de esperança.

Resumo da Tese apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica .

# **MECANISMO DE ADAPTAÇÃO BASEADO EM REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA SISTEMAS HIPERMÍDIA ADAPTATIVOS**

**Andréa Teresa Riccio Barbosa**

novembro / 2004

Orientador: Fernando Mendes de Azevedo, D. Sc.

Área de Concentração: Sistema de Informação

Palavras Chave: Interface Adaptativa, Redes Neurais Artificiais, Sistemas Hipermídia Adaptativos, Teoria das Inteligências Múltiplas

Número de Páginas: 211

**RESUMO:** Nesta tese é proposta uma metodologia para construir sistemas que realizem adaptação automática, na interface de uma hipermídia, conforme o perfil do usuário. Este perfil é determinado a partir de uma teoria cognitiva denominada Teoria das Inteligências Múltiplas. O sistema modifica automaticamente as formas de apresentação do conteúdo usando texto, fluxograma, desenho e animação. Oferece, também, a possibilidade do usuário alterar explicitamente a mídia em que determinado conteúdo é apresentado, a fim de adequá-lo às suas necessidades. A concepção do mecanismo de adaptação levou em consideração a formalização da interface adaptativa como um autômato. No mecanismo de adaptação foram utilizadas redes neurais artificiais dos tipos MLP (*Multilayer Perceptron*) e IAC (*Interactive Activation and Competition*) para implementação, respectivamente, da adaptatividade e adaptabilidade do sistema. Através da adaptatividade o sistema tem a capacidade de realizar a adaptação da mídia em determinado conteúdo, conforme o perfil do usuário e, a adaptabilidade permite que sejam realizadas alterações explícitas por parte do usuário. O estudo de caso desenvolvido na avaliação da metodologia proposta consiste na implementação de um *site* adaptativo que disponibiliza um manual de operação de um monitor multiparamétrico. Uma avaliação motivacional, comparando um *site* adaptativo e outro não adaptativo, foi realizada através de um teste aplicado em 31 voluntários. Verificou-se que o *site* adaptativo, em relação ao não adaptativo, foi 64,34% mais estimulante, 12,92% mais significativo, 3,50% mais organizado, 2,12% mais fácil de usar e 17,25% mais motivador. Pelos resultados apresentados, conclui-se que a metodologia proposta e implementada é viável de ser aplicada em sistemas hipermídia que necessitem de adaptação.

Abstract of Thesis presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Electrical Engineering .

**MECHANISM OF ADAPTATION  
BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORK  
FOR ADAPTIVE HYPERMEDIA SYSTEM**

**Andréa Teresa Riccio Barbosa**

November / 2004

Advisor: Fernando Mendes de Azevedo, D. Sc.

Area of Concentration: Biomedical Engineering

Keywords: Adaptive Interface, Artificial Neural Network, Adaptive Hypermedia System and Theory of the Multiple Intelligences

Number of Pages: 211

**ABSTRACT:** This thesis developed the methodology to project systems that accomplish automatic adaptation in the interface of a hypermedia, according to the user's profile. This profile is determined from a cognitive theory denominated of the Multiple Intelligences Theory. The system modifies the presentation of the content automatically using: text, flowchart, drawing and animation and it also offers the user's possibility to alter the media that certain content is presented explicitly, in order to adapt it to their needs. The conception of the adaptation mechanism took into account the formalization of adaptive interface as a robot. In the development of the adaptation mechanism, artificial neural networks were used of the types MLP (Multi-Layer Perceptron) and IAC (Interactive Activation and Competition) for implementation, respectively, of the adaptativity and adaptability of the system. Through the adaptativity the system has the capacity to accomplish the adaptation of the media in certain content, according to the user's profile and, the adaptability allows explicit alterations to be accomplished on the part of the user. The case study developed in the validation of this research consists in the implementation of adaptive site that makes available an operation manual of the eletrectro medical equipment. An evaluation, comparing an adaptive site and other non adaptive, it was accomplished through an applied test in 31 volunteers. In that test it was verified that the adaptive site in relation to the non adaptive, was 64,34% more stimulant, 12,92% more significant, 3,50% more organized, 2,12% easier to use and 17,25% more motivational. For the presented results, it is ended that the proposed and implemented methodology is viable to be applied in hypermedia systems that need adaptation.

Abstract of Thesis presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Electrical Engineering .

**MECHANISM OF ADAPTATION  
BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORK  
FOR ADAPTIVE HYPERMEDIA SYSTEM**

**Andréa Teresa Riccio Barbosa**

December / 2004

Advisor: Fernando Mendes de Azevedo, D. Sc.

Area of Concentration: Biomedical Engineering

Keywords: Adaptive Interface, Artificial Neural Network, Adaptive Hypermedia System and Theory of the Multiple Intelligences

Number of Pages: 212

**ABSTRACT:** This thesis developed the methodology to project systems that accomplish automatic adaptation in the interface of a hypermedia, according to the user' s profile. This profile is determined from a cognitive theory denominated of the Multiple Intelligences Theory. The system modifies the presentation of the content automatically using: text, flowchart, drawing and animation and it also offers the user' s possibility to alter the media that certain content is presented explicitly, in order to adapt it to their needs. The conception of the adaptation mechanism took into account the formalization of adaptive interface as a robot. In the development of the adaptation mechanism, artificial neural networks were used of the types MLP (Multi-Layer Perceptron) and IAC (Interactive Activation and Competition) for implementation, respectively, of the adaptativity and adaptability of the system. Through the adaptativity the system has the capacity to accomplish the adaptation of the media in certain content, according to the user' s profile and, the adaptability allows explicit alterations to be accomplished on the part of the user. The case study developed in the validation of this research consists in the implementation of adaptive site that makes available an operation manual of the eletrectro medical equipment. An evaluation, comparing an adaptive site and other non adaptive, it was accomplished through an applied test in 31 volunteers. In that test it was verified that the adaptive site in relation to the non adaptive, was 64,34% more stimulant, 12,92% more significant, 3,50% more organized, 2,12% easier to use and 17,25% more motivational. For the presented results, it is ended that the proposed and implemented methodology is viable to be applied in hypermedia systems that need adaptation.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>XIV</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....</b>	<b>XVIII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	3
1.2 JUSTIFICATIVA.....	4
1.3 CONTEÚDO DO TRABALHO.....	7
<b>2. ESTADO DA ARTE DA HIPERMÍDIA ADAPTATIVA .....</b>	<b>9</b>
2.1 NOVOS RECURSOS .....	11
2.2 ALGUMAS APLICAÇÕES COM HIPERMÍDIA ADAPTATIVA .....	12
2.2.1 Aplicações de Recomendação e Filtragem .....	12
2.2.2 Menus Adaptativos .....	13
2.2.3 Predição de Comandos Unix.....	13
2.2.4 Valores Preditos em Formas .....	13
2.2.5 Propostas de Tempo de Reunião .....	13
2.2.6 Sistemas Tutores Inteligentes (STIs).....	13
2.2.7 Programando pela Demonstração.....	14
2.2.8 Assessoramento de Rota Adaptativa .....	14
2.3 ESTADO DA ARTE.....	14
<b>3. INTELIGÊNCIAS MÚLTIPLAS .....</b>	<b>18</b>
3.1.1 A Inteligência Lingüístico-verbal.....	19
3.1.2 A Inteligência Lógico-matemática .....	19
3.1.3 A Inteligência Visual-espacial.....	19
3.1.4 A Inteligência Cinestésico-corporal .....	20

3.2 IDENTIFICAÇÃO DAS INTELIGÊNCIAS MÚLTIPLAS.....	20
<b>4. REDES NEURAS ARTIFICIAIS .....</b>	<b>21</b>
4.1 O MODELO IAC (INTERACTIVE ACTIVATION AND COMPETITION) .....	22
4.1.1 Arquitetura.....	22
4.1.2 A Inserção de Conhecimento na Rede IAC.....	24
4.1.3 Ativação Dinâmica.....	26
4.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS (ESTADO DA ARTE) .....	28
<b>5. METODOLOGIA DESENVOLVIDA .....</b>	<b>31</b>
5.1 MÓDULO DO USUÁRIO.....	32
5.1.1 Redução de Dimensionalidade .....	34
5.1.2 Seleção de Características .....	35
5.1.3 Podas de Nós ( <i>Node Pruning</i> ).....	36
5.1.4 Seleção de Perguntas e Classificação Utilizando uma Rede Neural Artificial. ....	39
5.1.5 Resultados Obtidos no Módulo do Usuário .....	44
5.1.6 Classificação das IMs do Usuário .....	58
5.2 MÓDULO GERADOR DE ADAPTAÇÃO .....	62
5.2.1 Resultados Obtidos e Discussões .....	91
5.2.2 Validação do Mecanismo de Adaptação.....	111
5.2.3 Fluxograma do Programa de Adaptação Desenvolvido.....	116
5.2.4 Correção do Erro da Rede Neural.....	118
5.2.5 Validação do SE Desenvolvido .....	124
5.3 MÓDULO DE INTERFACE .....	125
5.3.1 Implementação.....	126
5.3.1.1 <i>Processo de Sincronização do MatLab com o JSP</i> .....	126
5.3.1.2 <i>Teste das IMs</i> .....	130
5.3.1.3 <i>Divisão do Conteúdo</i> .....	130
5.3.1.4 <i>Elaboração das Diferentes Mídias</i> .....	133
5.3.2 Validação do Sistema Adaptativo .....	138

<b>6. INTERFACE ADAPTATIVA ATRAVÉS DE SISTEMAS FORMAIS .....</b>	<b>142</b>
6.1 CONCEITOS BÁSICOS DA TEORIA DOS AUTÔMATOS.....	143
6.2 INTERFACE ADAPTATIVA COMO AUTÔMATO .....	144
<b>7. VALIDAÇÃO E AVALIAÇÃO DO SISTEMA ADAPTATIVO .....</b>	<b>153</b>
7.1 CÁLCULO DO RESULTADO DO QUESTIONÁRIO .....	156
7.2 TESTE ESTATÍSTICO .....	156
7.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	164
<b>8. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES .....</b>	<b>168</b>
8.1 DISCUSSÕES.....	168
8.1.1 O Desenvolvimento da Pesquisa em Hipermídia Adaptativa .....	168
8.1.2 A Metodologia de Construção do Sistema de Adaptação.....	169
8.1.3 A Interface como Objeto de Adaptação.....	170
8.1.4 O Perfil do Usuário .....	171
8.1.5 A Redução da Dimensionalidade do Teste .....	172
8.1.6 A Aplicação da Estratégia Pedagógica .....	174
8.1.7 A Nova Forma de Implementação da Rede IAC .....	174
8.1.8 A Formalização do <i>Site</i> Adaptativo.....	176
8.1.9 A Validação e Avaliação do Sistema .....	176
8.1.10 Limitações e Dificuldades.....	180
8.2 CONCLUSÕES .....	180
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>184</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.11 Representação da Rede Neural IAC. Os neurônios estão divididos em pools, sendo que o pool central (em cinza) é o pool oculto ou espelho e não recebe, portanto, excitação externa. Este pool é um espelho do pool com a maior quantidade de neurônios. Esta figura apresenta a ligação de apenas um pool, mas todos os outros neurônios de todos os outros pools possuem a mesma ligação com os neurônios do pool oculto e com os neurônios do mesmo pool. As ligações entre os neurônios de mesmo pool são inibitórias e a ligação entre os neurônios de um pool e os neurônios do pool oculto são excitatórias. ....	24
Figura 4.1.2 Exemplo da matriz de pesos da rede dos animais. A matriz é simétrica com diagonal principal nula. ....	25
Figura 4.13 Representação do neurônio $N_i$ , destacado na Figura 4.11. Esta Figura é uma representação das ativações que ocorrem no neurônio $i$ , de fora da rede e oriundos de outros neurônios (do mesmo <i>pool</i> e dos outros <i>pools</i> ). ....	27
Figura 5.1 Comunicação entre os Módulos de Interface, do Usuário e Gerador de Adaptação. ....	31
Figura 5.2 Representação da “comunicação” do Módulo do Usuário com os demais módulos. ....	32
Figura 5.3 Processo para obtenção dos dados para redução da quantidade de perguntas do teste de Inteligências Múltiplas considerado. ....	41
Figura 5.4 Arquitetura de uma das redes MLPs (IM Lógico-matemática com 18 neurônios na camada de entrada, quatro na camada intermediária e um na saída). ....	45
Figura 5.5 Curva de treinamento para a rede MLP com algoritmo de treinamento <i>backpropagation</i> , sem podas de nós, para a Inteligência Múltipla Lingüístico-verbal. ....	45
Figura 5.6 Curva de erro, para a rede MLP, usando podas de nós no treinamento para a IM Lingüístico-verbal. ....	47
Figura 5.7 Arquitetura resultante da rede MLP, após poda dos nós, para a IM Lingüística-verbal. ....	49
Figura 5.8 Curva de erro para a rede MLP usando a podas de nós no treinamento para a IM Lógico-matemática. ....	50
Figura 5.9 Arquitetura resultante da rede MLP, após poda de nós, para a IM Lógico-matemática. ....	51

Figura 5.10 Curva de erro para a rede MLP usando o nó de <i>pruning</i> no treinamento para a IM Visual-espacial. ....	52
Figura 5.11 Arquitetura resultante rede MLP, após poda dos nós, para a IM Visual-espacial.....	53
Figura 5.12 Curva de erro para a rede MLP usando o nó de <i>pruning</i> no treinamento para a IM Cinestésico-corporal.....	55
Figura 5.13 Arquitetura resultante da rede MLP, após podas dos nós, para a IM Cinestésico-corporal. ....	55
Figura 5.14 Representação da conversão do teste de múltiplas escolhas das IMs em “nota”. ....	60
Figura 5.15 Detalhamento do uso da rede MLP para obtenção da nota de uma IM (este processamento é realizado em cada uma das IMs consideradas).....	61
Figura 5.16 Representação das possibilidades de apresentação do assunto nas mídias texto, lógica, desenho ou animação. O conteúdo é dividido em 20 assuntos e cada um destes assuntos pode ser apresentado em uma mídia, sendo esta definida pela rede neural que está contida no sistema desenvolvido.....	64
Figura 5.17 Exemplo de uma matriz de pesos completa de uma rede neural do tipo IAC. Somente a parte em cinza será preenchida na matriz do Excel, pois o restante da matriz será preenchida automaticamente pelo <i>software</i> desenvolvido em MatLab. ....	68
Figura 5.18 Demonstrativo da planilha a ser preenchida com os nomes dos neurônios, <i>pools</i> e pesos, utilizada no programa genérico da rede IAC.....	69
Figura 5.19 Tela inicial do <i>software</i> desenvolvido em MatLab para implementar redes IAC, modelo Rumelhart padrão. ....	69
Figura 5.20 Tela do programa da rede IAC quando é selecionado o botão abrir, para escolher o arquivo de pesos do Excel.....	70
Figura 5.21 – Tela do programa onde aparece a janela de seleção dos neurônios. ....	70
Figura 5.22 Gráfico apresentado pelo sistema.....	71
Figura 5.23 Validação pela comparação dos resultados obtidos das redes IAC desenvolvidas em DOS e em MatLab. ....	72
Figura 5.24 Representação da topologia da rede IAC proposta. ....	73
Figura 5.25 Gráfico da rede IAC com matriz contendo 256 indivíduos executada com 150 ciclos. ....	81
Figura 5.26 Variações das notas dos 31 indivíduos.....	83

Figura 5.27 Variações das notas para 124 indivíduos. ....	84
Figura 5.28 Representação da topologia da rede neural do tipo IAC, utilizada para a adaptabilidade do sistema. ....	89
Figura 5.29 Representação do funcionamento conjunto da rede MLP e rede IAC para realização da adaptação no sistema.....	90
Figura 5.30 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 1/A.....	96
Figura 5.31 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 2/B.....	98
Figura 5.32 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 3/C.....	98
Figura 5.33 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 4/D.....	99
Figura 5.34 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 5/E.....	100
Figura 5.35 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 6/F.....	101
Figura 5.36 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 7/G.....	101
Figura 5.37 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 8/H.....	102
Figura 5.38 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 9/I.....	103
Figura 5.39 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 10/J.....	104
Figura 5.40 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 11/K.....	105
Figura 5.41 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 12/L.....	106
Figura 5.42 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 7, TESTE 62/M.....	107
Figura 5.43 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 8, TESTE 63/N.....	108
Figura 5.44 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 9, TESTE 64/O.....	109
Figura 5.45 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 10, TESTE 65/P.....	110
Figura 5.46 Comparação da quantidade de mídia texto fornecida pelas redes MLP e IAC para teste 1/A. ....	114
Figura 5.47 Fluxograma do programa de adaptação. ....	117
Figura 5.48 Fluxograma 1 de representação das regras para correção de erro da rede neural desenvolvida.....	119
Figura 5.49 Fluxograma 2 com regras de correção de erro da rede neural tipo IAC, quando a soma das quantidades das mídias for igual a 19.....	120
Figura 5.50 Fluxograma 3 com regras de correção de erro da rede neural tipo IAC, quando a soma das quantidades das mídias for igual a 21.....	121

Figura 5.51 Fluxograma 4 com regras de correção de erro da rede neural tipo IAC, quando a soma das quantidades das mídias for igual a 18.....	122
Figura 5.52 Fluxograma 5 com regras de correção de erro da rede neural tipo IAC, quando a soma das quantidades das mídias for igual a 22.....	123
Figura 5.3.1 Comunicação entre o MatLab e o JSP. ....	129
Figura 5.3.2 Página inicial do <i>site</i> do Manual de operação de um sistema de informação fisiológica.....	130
Figura 5.3.3 Teste de IM com perguntas de 1 a 4.....	130
Figura 5.3.4 Representação do menu principal. ....	132
Figura 5.3.5 Página principal com menu .....	133
Figura 5.3.6 Página com assunto projetado na mídia texto .....	134
Figura 5.3.7 Página com assunto projetado na mídia lógica. ....	135
Figura 5.3.8 Página da mídia lógica. Esta página é integrante do assunto características (link interno).....	135
Figura 5.3.9 Página com assunto projetado na mídia desenho.....	136
Figura 5.3.10 Página da mídia desenho. Esta página é integrante do assunto características (link interno). ....	136
Figura 5.3.11 Página com assunto projetado na mídia animação.....	137
Figura 5.3.12 Página da mídia animação. Esta página é integrante do assunto características (link interno). ....	138
Figura 6.1 Representação gráfica do Hipermissão adaptativa como autômato. ....	148
Figura 6.2 Representação transição de estados da interface adaptativa através de grafos. ....	151
Figura 6.3 Uma representação da escolha do usuário e excitação dos neurônios na rede neural do tipo IAC através de grafos.....	151
Figura 7.1 Esquema de um estudo, tipo dados pareados, para avaliar o efeito motivacional entre dois sistemas hipermissões ( <i>sites</i> ) – estático e adaptativo. ....	154
Figura 7.2 Gráfico do parâmetro “estimulante” dos <i>sites</i> estático e adaptativo para os 31 indivíduos.....	158
Figura 7.3 Gráfico do parâmetro “significante” dos <i>sites</i> estático e adaptativo para os 31 indivíduos.....	158

Figura 7.4 Gráfico do parâmetro “organização” dos <i>sites</i> estático e adaptativo dos 31 indivíduos.....	159
Figura 7.5 Gráfico do parâmetro “fácil de usar” dos <i>sites</i> estático e adaptativo dos 31 indivíduos.....	159
Figura 7.6 Gráfico de avaliação dos parâmetros motivacionais. ....	160
Figura 7.7 Gráfico do parâmetro “Valor” dos <i>sites</i> estático e adaptativo para os 31 indivíduos. ..	161
Figura 7.8 Gráfico do parâmetro “Expectativa de Sucesso” dos <i>sites</i> estático e adaptativo para os 31 indivíduos. ....	161
Figura 7.9 Gráfico de valores resultantes. ....	162
Figura 7.10 Gráfico da “Motivação Total” dos <i>sites</i> dos 31 indivíduos.....	162

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 Posição dos países por número de hosts. ....	5
Tabela 5.1 Resultado da Rede MLP para a com algoritmo de treinamento <i>backpropagation</i> , sem podas de nós, para a Inteligência Múltipla Lingüística-verbal.....	46
Tabela 5.2 Resultado dos testes da rede MLP para a IM Lingüístico-verbal. ....	47
Tabela 5.3 Obtenção do erro, para a IM Lingüístico-verbal, entre as notas dos indivíduos e notas fornecidas pela Rede MLP com treinamento <i>backpropagation</i> com momento e podas de nós. Estes resultados são para indivíduos não utilizados no treinamento. ....	48
Tabela 5.4 Valor dos pesos resultantes, após o treinamento da rede MLP com podas de nós, para a IM Lingüístico-verbal.....	48
Tabela 5.5 Resultado dos testes do rede MLP para a IM Lógico-matemática. ....	49
Tabela 5.6 Obtenção do erro, da IM Lógico-matemático, entre as notas dos indivíduos e notas fornecidas pela Rede MLP com treinamento <i>backpropagation</i> com momento e podas de nós. Estes resultados são para indivíduos não utilizados no treinamento. ....	50
Tabela 5.7 Valor dos pesos resultantes, após o treinamento da rede MLP com podas de nós, para a IM Lógico-matemática. ....	50
Tabela 5.8 Resultado dos testes do rede MLP para a IM Visual-espacial.....	51
Tabela 5.9 Obtenção do erro, da IM Visual-espacial, entre as notas dos indivíduos e notas fornecidas pela Rede MLP com treinamento <i>backpropagation</i> com momento e podas de nós. Estes resultados são para indivíduos não utilizados no treinamento. ....	52
Tabela 5.10 Valor dos pesos resultantes, após o treinamento da rede MLP com podas de nós, para a IM Visual-espacial.....	53
Tabela 5.11 Resultado dos testes do rede MLP para a IM Cinestésico-corporal. ....	54
Tabela 5.12 Obtenção do erro, da IM Cinestésico-corporal, entre as notas dos indivíduos e notas fornecidas pela Rede MLP com treinamento <i>backpropagation</i> com momento e podas de nós. Estes resultados são para indivíduos não utilizados no treinamento. ....	54
Tabela 5.13 Valor dos pesos resultantes, após o treinamento da rede MLP com podas de nós, para a IM Cinestésico-corporal. ....	55
Tabela 5.14 Listagem das perguntas resultantes do teste de IM para todas as IM consideradas.....	56

Tabela 5.15 Comparação das notas obtidas com o <i>Data Engine</i> e o MatLab, com a inserção dos pesos obtidos do <i>software Data Engine</i> , para a IM Lingüístico-verbal.....	57
Tabela 5.16 Comparação das notas obtidas com o <i>Data Engine</i> e o MatLab, com a inserção dos pesos obtidos do <i>software Data Engine</i> , para a IM Lógico-matemática. ....	57
Tabela 5.17 Comparação das notas obtidas com o <i>Data Engine</i> e o MatLab, com a inserção dos pesos obtidos do <i>software Data Engine</i> , para a IM Visual-espacial. ....	58
Tabela 5.18 Comparação das notas obtidas com o <i>Data Engine</i> e o MatLab, com a inserção dos pesos obtidos do <i>software Data Engine</i> , para a IM Cinestésico-corporal. ....	58
Tabela 5.1.19 Representação de como devem ser especificados os pesos que serão lidos pelo programa desenvolvido em MatLab. Os pesos deste exemplo são da IM verbal. ....	62
Tabela 5.20 Exemplos de indivíduos hipotéticos, com valores de notas e médias para cada assunto associada .....	75
Tabela 5.21 Dados da relação notas-médias conforme o “conhecimento” desejado. ....	77
Tabela 5.22 Resposta da rede neural para “ <b>conhecimento não linear</b> ” para indivíduos <b>pertencentes</b> a matriz de pesos.....	78
Tabela 5.23 Resposta da rede neural para “ <b>conhecimento não linear</b> ” para indivíduos <b>não pertencentes</b> a matriz de pesos.....	79
Tabela 5.24 Resposta da rede neural para “conhecimento linear” para indivíduos pertencentes a matriz de pesos.....	79
Tabela 5.25 Resposta da rede neural para “conhecimento linear” para indivíduos pertencentes a matriz de pesos.....	80
Tabela 5.26 Relação entrada/saída (nota/quantidade de médias) para 31 indivíduos, conforme “conhecimento” ou estratégica para a aplicação da Teoria das Inteligências Múltiplas. Cada neurônio de cada <i>pool</i> referente à nota de uma IM está sendo excitado uma vez.....	82
Tabela 5.27 Proposição de simulação de ações repetitivas por parte de novos usuários do sistema e resultado esperado da rede. ....	92
Tabela 5.28 Testes 1/A, 2/B e 3/C com mudança de média do indivíduo 1 .....	93
Tabela 5.29 Testes 4/D, 5/E e 6/F com mudança de média.....	94
Tabela 5.30 Testes 7/G, 8/H e 9/I com mudança de média do indivíduo 1.....	94
Tabela 5.31 Testes 10/J, 11/K e 12/L com mudança de média do indivíduo 1 .....	94

Tabela 5.32	Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 1/A – indivíduo 1.....	95
Tabela 5.33	Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 2/B – indivíduo 1.....	97
Tabela 5.34	Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 3/C – indivíduo 1.....	98
Tabela 5.35	Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 4/D – indivíduo 1.....	99
Tabela 5.36	Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 5/E – indivíduo 1.....	100
Tabela 5.37	Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 6/F – indivíduo 1.....	101
Tabela 5.38	Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 7/G – indivíduo 1.....	101
Tabela 5.39	Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 8/H – indivíduo 1.....	102
Tabela 5.40	Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 9/I – indivíduo 1.....	103
Tabela 5.41	Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 10/J – indivíduo 1.....	104
Tabela 5.42	Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 11/K – indivíduo 1.....	105
Tabela 5.43	Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 12/L – indivíduo 1.....	106
Tabela 5.44	Teste 62/M do indivíduo 7 com mudança de mídia (aumento sempre de texto). ....	107
Tabela 5.45	Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 62/M – indivíduo 7.....	107
Tabela 5.46	Teste 63/N do indivíduo 8 com mudança de mídia (aumento sempre de lógica). ....	108
Tabela 5.47	Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 63/N – indivíduo 8.....	108
Tabela 5.48	Teste 64/O do indivíduo 9 com mudança de mídia (aumento sempre de desenho). ....	109
Tabela 5.49	Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 64/O – indivíduo 9.....	109
Tabela 5.50	Teste 65/P do indivíduo 10 com mudança de mídia (aumento sempre de animação). ....	110
Tabela 5.51	Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 65/P – indivíduo 10.....	110
Tabela 5.52	Testes 1/A, 2/B e 3/C para validação da rede IAC para o indivíduo 1.....	113
Tabela 5.53	Testes 4/D, 5/E e 6/F para validação da rede IAC para o indivíduo 1.....	115
Tabela 5.54	Testes 7/G, 8/H e 9/I para validação da rede IAC para o indivíduo 1.....	115
Tabela 5.55	Testes 10/J, 11/K e 12/L para validação da rede IAC para o indivíduo 1.....	116
Tabela 5.2.5.56	Resultados da validação do SE. ....	124
Tabela 5.3.57	Divisão do conteúdo a ser apresentado. ....	131
Tabela 5.3.58	Resumo das características, atividades propícias ou ações estimuladoras para o desenvolvimento das Inteligências Múltiplas (modificado de SALDIAS, 2002). ....	133

Tabela 5.3.2.59	Marcações reduzidas do teste de múltipla escolha para determinação das IMs. ..	139
Tabela 5.3.2.60	Valores obtidos do teste de múltipla escolha e das redes neurais.....	139
Tabela 5.3.2.61	Descrição das mídias a serem apresentadas e a atuação do usuário (médias visitadas e escolhidas) nas diversas iterações. ....	140
Tabela 5.3.2.62	Resultados da ativação da rede neural IAC e correção por regra nas iterações....	140
Tabela 6.1	Condições de algumas entradas (seleção do usuário).....	149
Tabela 6.2	Tabela simplificada de transição de estados.....	150
Tabela 6.3	Tabela de transição de estados da ativação da rede IAC. ....	152
Tabela 7.1	Respostas do teste motivacional obtidas de um usuário para o sistema estático e o sistema adaptativo.....	156
Tabela 7.2	Valor médio do parâmetro “estimulante” para os 31 usuários dos <i>sites</i> estático e adaptativo.....	157
Tabela 7.3	Valor médio do parâmetro “significante” para os 31 usuários dos <i>sites</i> estático e adaptativo.....	158
Tabela 7.4	Valor médio do parâmetro “organizado” para os 31 usuários dos <i>sites</i> estático e adaptativo.....	158
Tabela 7.5	Valor médio do parâmetro “fácil de usar” dos 31 usuários dos <i>sites</i> estático e adaptativo.....	159
Tabela 7.6	Valores médios dos parâmetros motivacionais avaliados.....	160
Tabela 7.7	Valor médio do “Valor” e “Expectativa para o Sucesso” dos dos <i>sites</i> estático e adaptativo para os 31 usuários. ....	161
Tabela 7.8	Valor médio da “Motivação Total” dos 31 usuários dos <i>sites</i> estático e adaptativo.....	162
Tabela 7.9	Resultados do teste <i>t</i> para os parâmetros E, S, O e U. ....	163
Tabela 7.10	Resultados do teste <i>t</i> para os parâmetros V, ES e Motivação Total.....	164
Tabela 7.11	Diferença percentual entre os valores médios dos parâmetros dos <i>sites</i> estático e adaptativo .....	164
Tabela 8.1	Perguntas e erros resultantes do teste de IM para todas as IM consideradas utilizando a rede MLP com podas de nós. ....	173

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

$\Lambda$	Conjunto das funções de saída
$\Psi$	Conjunto das funções de entrada
$\lambda$	Função de próximo estado
$\eta$	Função da próxima saída
$A_i$	Autômato
<b>BCU</b>	Base de modelos do usuário
<b>E</b>	Estimulante
<b>EAs</b>	Estabelecimentos Assistenciais de Saúde
<b>ES</b>	Expectativa de sucesso
<b>FH</b>	Fonte de Hipermissão
<b>GLN</b>	Geração de Linguagem Natural
<b>HA</b>	Hipermissão Adaptativa
$H_0$	Hipótese nula
$I_a$	Interface como autômato
<b>IA</b>	Inteligência Artificial
<b>IAC</b>	<i>Interactive Activation and Competition</i>
<b>IAdp</b>	Interface adaptativa
<b>IEB-UFSC</b>	Instituto de Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Santa Catarina
<b>IM1</b>	Inteligência Múltipla Lingüístico-verbal
<b>IM2</b>	Inteligência Múltipla Lógico-matemática
<b>IM3</b>	Inteligência Múltipla Visual-espacial
<b>IM4</b>	Inteligência Múltipla Cinestésico-corporal
<b>IMs</b>	Inteligências Múltiplas
<b>MGA</b>	Módulo Gerador de Adaptação
<b>MI</b>	Módulo de Interface
<b>MLP</b>	<i>Multilayer Perceptron</i>
<b>MOT</b>	<i>'My Online Teacher'</i>
<b>MU</b>	Módulo do Usuário
<b>NPT</b>	Número de pesos totais
<b>O</b>	Organizado
<b>RI</b>	Recuperação de informação

<b>RNA</b>	Rede Neural Artificial
<b>RP/D</b>	Relatório de Pesquisa de Doutorado
<b>S</b>	Sistema dinâmico
<b>S</b>	Significativo
<b>SE</b>	Sistema Especialista
<b>SH</b>	Sistema Hipermídia
<b>SHAs</b>	Sistemas Hipermídia Adaptativos
<b>SPR</b>	<i>Statistical pattern recognition</i>
<b>SRI</b>	Sistema de recuperação de informação
<b>STI</b>	Sistema Tutor Inteligente
<b>T</b>	Conjunto dos tempos
<b>TBC</b>	Treinamento baseado em computador
<b>TCP-IP</b>	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
<b>U</b>	Conjunto dos valores de entrada
<b>U</b>	Fácil de usar
<b>UI</b>	<i>User Interface</i>
<b>UMUAI</b>	<i>User Modeling and User-Adapted Interaction Journal</i>
<b>UTIs</b>	Unidade de Terapia Intensiva
<b>V</b>	Valor do <i>site</i>
<b>WIMP</b>	<i>Windows, Icons, Menus, Pointing device</i>
<b>X</b>	Conjunto dos estados
<b><math>x_0</math></b>	Estado inicial
<b>Y</b>	Conjunto dos valores da saída

# 1. INTRODUÇÃO

O ser humano está sempre buscando evoluir, se adaptando ao meio ambiente (ou adaptando este) de modo a prover seu bem estar. No último século, esta evolução se deu mais fortemente nas áreas científicas e tecnológicas, que levaram o mundo a uma era onde a informação é essencial em toda e qualquer atividade humana.

A informação foi, e é, uma das principais propulsoras da crescente integração de economias, culturas e relações sócio-políticas entre os países e, o uso do computador, bem como a interligação destes em redes, foi um dos grandes responsáveis por tal avanço.

Inicialmente, o computador foi inventado para resolver determinados problemas, sobretudo de cálculo que, uma vez programados, efetuavam o processamento de dados com muita rapidez e segurança, fornecendo os resultados desejados. Com o avanço tecnológico, associado ao custo decrescente das máquinas, houve uma melhora nos sistemas computacionais que proporcionou sua aplicabilidade em todas as áreas do conhecimento humano. Devido à sua utilidade e grande abrangência, inúmeras pesquisas relacionadas a *hardware*, *software* e suas interfaces, estão em contínuo desenvolvimento.

A interação entre um usuário e a máquina se dá através de interfaces. Primeiro, é necessário uma interface entre o usuário e o *hardware* da máquina. Segundo, os *softwares* exigem uma interface com o usuário (UI - *User Interface*).

A primeira geração das UIs (décadas de 50 e 60) foi marcada por uma precária e difícil interação usuário-computador. A entrada de dados ocorria por meio de cartões perfurados e a saída era impressa em papel e a interação mais sofisticada se dava por meio de chaves e luzes indicando o estado da máquina (VAN DAM, 97).

A segunda geração (a partir da década de 60) foi caracterizada por monitores alfa-numéricos, através dos quais os usuários podiam interagir com os computadores por meio de comandos. É o tipo de interação dos sistemas DOS e Unix (VAN DAM, 97).

Na década de 70, surgiram as interfaces WIMP (*Windows, Icons, Menus, Pointing device*) que são baseadas em janelas, ícones, menus e um dispositivo apontador (geralmente o mouse), e podem ser consideradas a terceira geração de UIs (VAN DAM, 97). Elas funcionam por meio do mecanismo de *point and click* (apontar e clicar), isto é, os objetos gráficos que compõem a UI são mostrados na tela e, para

interagir com eles, o usuário deve levar o ponteiro até eles e clicar.

O surgimento das interfaces WIMP foi um grande avanço no sentido de diminuir a distância cognitiva entre a intenção e a execução desta intenção, ou seja, o foco do usuário é a tarefa a ser executada e não a tecnologia por trás da máquina. Isto possibilitou uma facilidade cada vez maior na utilização de tais equipamentos que se traduziu, por sua vez, em uma grande quantidade de novos usuários (VAN DAM, 97).

Apesar do sucesso das interfaces WIMP, elas podem se tornar difíceis de se utilizar em aplicações muito complexas porque, embora os *widgets* (elementos de interface) sejam individualmente fáceis de usar, o agregado de recursos pode criar um alto grau de complexidade (VAN DAM, 97).

Com o crescimento de tecnologias usadas no desenvolvimento de interfaces em sistemas computacionais surge a necessidade de novas metodologias para personalizar seu uso, tornando o usuário o elemento central para o projeto deste importante componente. Desta forma, possibilita-se que as informações fiquem mais atraentes e sejam assimiladas de forma mais clara e fácil, enriquecendo as possibilidades de comunicação entre o usuário e o sistema.

Um grande esforço, para melhorar os sistemas computacionais, está sendo dispendido para incorporar flexibilidade e adaptabilidade aos sistemas. Neste sentido, algumas pesquisas utilizam-se de técnicas de Inteligência Artificial (IA), na busca por soluções para o problema de personalização de sistemas ao usuário. O uso de IA possibilita que os pesquisadores nas áreas da computação e das ciências do conhecimento desenvolvam e testem novas técnicas e modelos, em sistemas adaptativos.

Além do uso de técnicas de IA, teorias cognitivas têm sido propostas em projetos de interface, como resultado de pesquisas na área da interação usuário-máquina (COSTA et al., 2001). O objetivo da maioria destas pesquisas é, de um modo ou de outro, proporcionar ao usuário um alto grau de eficiência e eficácia com relação à utilização do sistema, projetando interfaces que sejam bastante intuitivas, naturais e moldadas, tanto quanto possível, às características individuais do usuário.

Muitas destas teorias cognitivas são criadas para que os estudantes, durante o ensino presencial, se desenvolvam melhor, apresentando procedimentos mais adequados a serem utilizados na transferência de informações. Alguns sistemas disponibilizados para computador como, por exemplo, Sistemas Tutoriais Inteligentes

(STIs), também já fazem uso de teorias cognitivas com este fim.

Verifica-se também que, há um tempo considerável, o computador vem sendo utilizado para fins educacionais e o uso de IA, em muitos destes sistemas desenvolvidos, permite a personalização da instrução, compatibilizando a apresentação dos conteúdos com o nível de conhecimento e aprendizagem do usuário.

Os STIs foram os primeiros sistemas adaptativos que se utilizaram de técnicas de IA com a intuito de se desenvolver sistemas inteligentes capazes de perceber as características do aprendiz, facilitando o processo de ensino-aprendizagem. Esses são sistemas típicos dirigidos ao ensino onde o estudante tem pouco controle sobre o processo de aprendizagem, já que este controle é estabelecido pelo sistema (KAPLAN & ROCK, 1995).

A evolução destes sistemas, bem como o desenvolvimento das técnicas de Hipermídia e Multimídia, tem incorporado avanços na área de educação. A criação de ambientes mais atrativos e interativos com essas técnicas possibilitou o acesso não linear às informações e a apresentação do conteúdo de formas mais dinâmicas como: áudio, vídeo, animações, textos, gráficos, etc.

Por conseqüência, como principal resultado, surgiram os Sistemas Hipermídia (SH) Educacionais que são sistemas de aprendizagem assistidos por computador, onde o material de ensino é apresentado numa forma não linear, fornecendo exploração livre do material de ensino orientado ao estudante, porém exercendo controle total sobre o processo de aprendizado.

A integração de STI e SH Educacionais deu origem a sistemas híbridos denominados Sistemas Hipermídia Adaptativos (SHAs) (BRUSILOVSKY, 1996). Os SHAs, inicialmente, foram direcionados para educação, sendo ainda, esta a área mais popular de pesquisa, porém, atualmente, são aplicados em outras áreas onde é esperado que o sistema seja usado por pessoas com metas e conhecimentos diferentes e onde o hiperespaço seja razoavelmente grande (Da BRA & BRUSILOVSKY, 2000).

Este trabalho pretende contribuir para o desenvolvimento de sistemas adaptativos através da proposição de uma metodologia, utilizando teoria cognitiva e técnicas de IA, como base para adaptação da interface (adaptar a apresentação do conteúdo).

## **1.1 Objetivos do Trabalho**

Este trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento de uma metodologia,

baseada em redes neurais do tipo MLP (*Multilayer Perceptron*) e do tipo IAC (*Interactive Activation and Competition*) para implementação, respectivamente, da adaptatividade e adaptabilidade em interfaces hipermídia.

Em sistemas computacionais há uma separação no conceito de adaptação, em adaptatividade (*adaptativity*) e adaptabilidade (*adaptability*). Sistemas com adaptatividade têm a capacidade de modificar automaticamente suas próprias características, de acordo com a percepção das necessidades e características pessoais do usuário. Sistemas com adaptabilidade oferecem ferramentas para que o usuário altere explicitamente certas características do sistema, para adequá-lo ao seu comportamento (OPPERMAN et al. 1997).

A metodologia desenvolvida propõe que a apresentação de um conteúdo em um SHA seja adaptada ao usuário, em função de seu perfil definido pela Teoria das Inteligências Múltiplas (TIM), através da combinação diferenciada das mídias do tipo texto, fluxograma, desenho e animação. A adaptação se baseia em quatro, das oito inteligências definidas pela TIM, quais sejam: Lingüístico-verbal, Lógico-matemática, Visual-espacial e Cinestésico-corporal.

Para que o objetivo geral seja atingido, os seguintes objetivos específicos são necessários:

- Pesquisar as soluções mais recentes para implementar adaptatividade em interfaces;
- Desenvolver um programa que possibilite a utilização da rede IAC em diferentes implementações;
- Efetuar testes que identifique o valor das inteligências múltiplas (IMs), consideradas no trabalho, em voluntários;
- Efetuar testes para validar os resultados das Redes Neurais utilizadas;
- Utilizar a Teoria das Inteligências Múltiplas para criar o modelo do usuário;
- Desenvolver um protótipo de um SHA para avaliar a metodologia proposta.

## **1.2 Justificativa**

Um dos meios de aquisição, tratamento, transmissão e disponibilização de informações que mais cresce, hoje, é a Internet. Esta se constitui em uma tecnologia de fundamental importância para a manutenção das atividades científicas e econômicas, permitindo a comunicação e interligação mundial.

A Internet faz parte do cotidiano de inúmeras pessoas no mundo todo, sempre com incremento do número de usuários. Segundo a Network Wizards 2003, verifica-se que em 2003 havia 120.571.516 de *hosts*<sup>1</sup> nos Estados Unidos, o primeiro em posição mundial nesta categoria (GLOBAL REACH, 2003). O Brasil, na mesma data, apresentava 2.237.527 *hosts* ocupando, assim, a nona posição mundial, a terceira se considerarmos as Américas e a primeira posição se considerarmos somente a América do Sul (GLOBAL REACH, 2003), como pode ser observado na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 Posição dos países por número de hosts.

Posição dos Países por Número de Hosts			Posição populacional do país e Número de Habitantes no País		Número de habitantes por host
1º	Estados Unidos	120.571.516	(3º)	280.562.489	2,33
2º	Japão (.jp)	9.260.117	(10º)	126.974.628	13,71
3º	Itália (.it)	3.864.315	(22º)	57.715.625	14,94
4º	Canadá (.ca)	2.993.982	(35º)	31.902.268	10,66
5º	Alemanha (.de)	2.891.407	(13º)	83.251.851	28,79
6º	Reino Unido (.uk)	2.583.753	(21º)	59.778.002	23,14
7º	Austrália (.au)	2.564.339	(52º)	19.546.792	7,62
8º	Holanda (.nl)	2.415.286	(59º)	16.067.754	6,65
9º	<b>Brasil (.br)</b>	<b>2.237.527</b>	<b>(5º)</b>	<b>176.026.560</b>	<b>78,67</b>

Considerando-se o número de habitantes e a extensão do Brasil, 78,67 habitantes por *host* é um número elevado. Certamente esta posição será alterada à medida que a população brasileira tiver condições financeiras para o acesso aos computadores e quando todas as escolas permitirem o aprendizado da utilização de tal recurso.

A Internet permite cada vez mais um acesso de forma rápida e simples através de protocolos de comunicação e de programação altamente interoperáveis (suporta comunicações usando o *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* TCP/IP, ou suas subseqüentes extensões e/ou outros protocolos compatíveis ao IP) (PRESTON, 2001; de SOUZA, 2001). Além disso, seus padrões de comunicação e programação facilitam o desenvolvimento de aplicações de forma muito rápida e simples possibilitando, portanto, o acesso a especialistas de diversas áreas, a formação de equipes de trabalho cooperativas e diversas outras utilizações, independente das distâncias geográficas dos indivíduos que se conectam.

Os conceitos de programação e comunicação permitem o desenvolvimento de aplicações com uma capacidade de interação com o usuário extremamente simples, clara e objetiva. E, com o aumento da capacidade de processamento e transferência de

---

<sup>1</sup> Cada computador, chamado de host, tem um endereço único que o identifica na Internet.

informação, é possível utilizar-se de forma ainda mais intensa as ferramentas de comunicação baseadas em imagem e som, o que torna o processo ainda mais amigável e eficaz. Essa característica, apesar de ainda estar apresentando limitações, é uma das responsáveis pelo alto índice de penetração da rede (de SOUZA, 2001).

Atualmente, principalmente em função destas características, a Internet vem promovendo impacto radical sobre alguns segmentos extremamente importantes da economia e da sociedade, tais como: entretenimento, comércio eletrônico, informação, educação presencial e a distância, entre outros.

Várias aplicações são desenvolvidas na área de entretenimento, como jogos interativos, humor, etc. Quanto ao comércio eletrônico, vários negócios já estão sendo realizados via Internet e a tendência é aumentar. A busca de informações na rede é um dos grandes atrativos e existem *sites* que divulgam gratuitamente várias informações como: computação, negócios, atualidades, entre outros. Através da educação a distância haverá possibilidade de que uma grande parcela da população mundial ter acesso às instruções formais e, a utilização da Internet se constitui em uma ótima ferramenta de apoio ao processo de ensino-aprendizagem.

Devido às características apresentadas, esta forma de transmissão de informação foi escolhida para implementação do estudo de caso deste trabalho através da implementação de um *site* que apresenta um manual de operação de um equipamento eletromédico.

A escolha da Teoria das IMs como teoria cognitiva deve-se ao fato de já estar sendo aplicada há algum tempo, na educação formal, apresentando resultados satisfatórios. Em alguns estabelecimentos educacionais, nos EUA, que utilizam esta teoria nas estratégias pedagógicas observou-se que, muitas vezes, o aluno desenvolve-se melhor quando utiliza algum meio tecnológico que explore sua inteligência mais preponderante. A explicação é a maior motivação e interesse, pelo assunto apresentado, gerados no aluno (PROJECT ZERO, 2003).

Outra motivação para o desenvolvimento deste trabalho é o desafio para desenvolver aplicações avançadas que possam oferecer interatividade e adaptabilidade ao usuário. O uso do paradigma conexionista da IA, no sistema adaptativo, se dá pelo fato das redes neurais possuírem características interessantes tais como: capacidade de “aprender” através de exemplos e de generalizar este aprendizado; possibilidade de resolver problemas complexos que são, atualmente,

intratáveis; não requerer conhecimento a respeito de eventuais modelos matemáticos dos domínios de aplicação; elevada imunidade ao ruído (HAYKIN,2001); lenta degradação no caso de perdas de conexões; e, no caso específico de uma das redes usadas (IAC), bidirecionalidade.

A rede IAC, modelo Rumelhart, utilizada neste trabalho é uma rede pouco conhecida, porém apresenta características interessantes para o problema em questão. Sua utilização, com modificações inéditas, de forma a possibilitar sua implementação, torna-se bastante interessante.

Finalizando, ressalta-se a importância da metodologia proposta considerando-se a linha de pesquisa do IEB referente ao desenvolvimento e implementação de sistemas adaptativos (BARBOSA, 2002, 2003; CURILEM, 2001, 2002a, 2002b; SALDIAS, 2002).

### **1.3 Conteúdo do trabalho**

Observa-se que o assunto desta tese é multidisciplinar e, portanto, para um melhor acompanhamento por parte dos leitores das diversas áreas, faz-se necessário, em algumas partes, a apresentação de conceitos que podem ser considerados relativamente básicos para alguns. Este trabalho está dividido em 8 capítulos, sendo os capítulos 2, 3 e 4 de revisão bibliográfica.

O capítulo 2 apresenta o estado da arte em hipermídia adaptativa, fazendo uma explanação sobre sua evolução, os novos recursos utilizados, algumas aplicações e alguns sistemas atuais.

O capítulo 3 traz informações sobre a teoria das Inteligências Múltiplas e descreve como elas são identificadas nos indivíduos.

O capítulo 4 aborda as redes neurais artificiais fazendo uma descrição de suas características e apresenta a rede neural do tipo IAC que foi utilizada no desenvolvimento da metodologia proposta.

No capítulo 5, descreve-se a metodologia proposta para a implementação de interfaces adaptativas. Nota-se que o mecanismo de adaptação proposto foi dividido em três módulos que são descritos separadamente. Também, neste capítulo são apresentados o estudo de caso e os resultados obtidos para validar a metodologia proposta.

O capítulo 6 apresenta uma formalização para sistemas com interface adaptativa.

O capítulo 7 apresenta a avaliação do sistema como um todo, ou seja, do sistema implementado para o estudo de caso.

O capítulo 8 traz as discussões e as conclusões sobre o trabalho. As publicações realizadas estão listadas após a Referência Bibliográfica. Dentre estas publicações ressalta-se o Relatório de Pesquisa (RP/D-IEB-01/2004) que apresenta alguns detalhes teóricos complementares que podem ajudar o entendimento desta tese, os fluxograma dos programas desenvolvidos, bem como todos os resultados de testes de avaliação e validação da pesquisa.

## 2. ESTADO DA ARTE DA HIPERMÍDIA ADAPTATIVA

A hipermídia adaptativa (HA) é uma alternativa para o tradicional “formato único” no desenvolvimento de sistemas hipermídia<sup>2</sup>, pois estas são estáticas, com fornecimento de um mesmo conteúdo e conjunto de *links* para todos os usuários. O projetista de uma hipermídia constrói o sistema e o usuário tem que se adaptar ao seu funcionamento.

Com o surgimento de aplicações cada vez mais complexas, o usuário tendo que “trabalhar”, simultaneamente, com uma grande quantidade de informações, e a necessidade do sistema levar em consideração o perfil (característica) do usuário, as pesquisas conduziram a sistemas alternativos denominados hipermídia adaptativos.

Os sistemas hipermídia adaptativos constroem um modelo das metas, preferências e conhecimento de cada usuário individualmente, e usa este modelo ao longo da interação com o usuário para adaptar às suas necessidades (BRUSILOVSKY, 2001).

Os elementos fundamentais de todo sistema de hipermídia adaptativa são: a interface, a base de modelos do usuário (BMU) e a fonte de hipermídia (bases de hipermídia, Internet e outros). Estes três componentes atuam em estreita dependência (PALAZZO, 2000).

Toda interação do usuário com o sistema é realizada através da interface adaptativa (IAdp) que executa dois processos de grande importância: (1) a apresentação de conteúdos e/ou *links* adaptados ao modelo do usuário e (2) a coleta de informações relevantes para mantê-lo atualizado. Assim a interface necessita oferecer alto grau de interatividade, possibilitando ao usuário ampla expressividade, isto é, a capacidade de comunicar-se com o sistema e interagir com ele. O estilo de apresentação da interface deve aproximar-se continuamente das preferências do usuário.

As construções de interfaces devem ser capazes de se adaptar às necessidades do usuário, ser mais flexíveis e ajudá-lo a realizar suas tarefas de maneira mais agradável e eficiente.

As características do usuário, necessárias para se produzir a adaptação, podem

---

<sup>2</sup> Sistemas hipermídia apresentam um conjunto de informações na forma de textos, gráficos, sons, vídeos e outros tipos de dados, e são organizados segundo o modelo associativo e de remissões (ação ou efeito de remeter, de mandar a um dado ponto), próprio do hipertexto.

ser capturadas de várias fontes como: dados cadastrais, testes e/ou a navegação observada do usuário na utilização do sistema. No conjunto, estas características compõem o Modelo do Usuário (MU) que é armazenado em uma Base de Modelos de Usuários (BMU). O MU deve evoluir ao longo da interação do usuário com o sistema, tornando a adaptação mais precisa. Após a definição do modelo do usuário, o sistema constrói a estrutura básica da interface que é “preenchida” com os assuntos selecionados na Fonte de Hipermídia (FH). A interface, então, é construída a partir das informações sobre o usuário, armazenadas na BMU e na FH (PALAZZO, 2000).

Pesquisas em Hipermídia Adaptativa tiveram seu início no ano de 1990, ocasião em que as duas áreas mais próximas, Hipertexto e Modelamento do Usuário, já tinham atingido nível de maturidade.

Alguns grupos de pesquisa tinham reconhecido os problemas com hipertexto estático em diferentes áreas de aplicações, e tinham começado a explorar modos de adaptar a utilização e apresentação de sistemas de hipertexto para usuários individuais (BOCKER et al. 1990; BRUSILOVSKY et al. 1993; KAPLAN et al 1993).

O apoio da comunidade de pesquisa, já estabelecida, de Modelamento de Usuário foi importante para o reconhecimento e promoção da Hipermídia Adaptativa como uma nova direção de pesquisa, tendo muitos artigos sido publicados no *User Modeling and User-Adapted Interaction Journal* (UMUAI). O primeiro *Workshop* na área, denominado *Adaptive Hypermedia Workshop*, aconteceu durante a *User Modeling Conference* em 1994 (BRUSILOVSKY & BEAUMONT, 1994) e, finalmente, uma edição especial do UMUAI sobre Hipermídia Adaptativa foi publicada em 1996 (BRUSILOVSKY, 1996). Neste período várias novas técnicas e pesquisas sobre hipermídia adaptativa foram desenvolvidas, construídas e avaliadas.

O ano de 1996 pode ser considerado um momento decisivo em pesquisa de hipermídia adaptativa em função do crescimento da área desde então. Vários grupos de pesquisa surgiram, teses começaram a ser defendidas, seminários e workshops foram realizados (BRUSILOVSKY e De BRA, 1998, 1999) e, finalmente, o primeiro livro sobre hipermídia adaptativa (BRUSILOVSKY et al., 1998) e uma edição especial da *New Review of Hypermedia and Multimedia* (1998) foram publicados.

Um dos principais fatores que contribuiu para o crescimento desta atividade de pesquisa foi o rápido aumento do uso da *Web* com sua demanda por adaptatividade, sua grande diversidade de audiência, e por se constituir em uma plataforma atraente.

Cabe ressaltar que justamente a *Web* permitiu as aplicações práticas para as pesquisas teóricas em hipermídia adaptativa.

A acumulação e consolidação de experiência de pesquisa na área promoveram uma classificação dos sistemas hipermídia adaptativos, juntamente com seus novos métodos, técnicas e tendências. Uma discussão mais abrangente sobre os tipos de sistemas adaptativos desenvolvidos, características importantes dos usuários consideradas na adaptação, métodos e técnicas de adaptação, é apresentada no Cap. 2 (RP/D-IEB-01/2004).

## 2.1 Novos Recursos

Os sistemas de hipermídia adaptativos quase sempre estão baseados em algum sistema que utiliza inteligência artificial (IA). Os primeiros sistemas utilizavam IA de maneira limitada, basicamente em conceitos de redes e *frames*. Os sistemas atuais procuram utilizar IA de uma maneira mais abrangente, com o uso de conceitos de grafos, máquinas de aprendizagem, modelos estatísticos e geração e entendimento de linguagem natural adaptativa. Dois grupos, em especial, parecem promissores (BRUSILOVSKY, 2001):

- **Geração de linguagem natural.** As tecnologias simples de apresentação adaptativa baseada em texto “encapsulado” (como variantes de fragmento ou *stretchtext* adaptável) podem ser suficientes para muitas áreas de aplicação, mas progressos são obtidos com a apresentação adaptativa utilizando-se técnicas de geração de linguagem natural (GLN). Alguns exemplos recentes indicam que técnicas de GLN podem ampliar fronteiras conhecidas de adaptação dentro da hipermídia fornecendo narração adaptável, orientação adaptável e comparação adaptável.
- **Inteligência Artificial simbólica e não simbólica.** Uma grande quantidade das pesquisas atuais está usando IA com algumas aproximações simbólicas, tais como: raciocínio baseado em caso, sistema especialista, aprendizagem de máquina, modelos Bayseanos e outras com aproximações não simbólicas através das redes neurais artificiais.

Uma das diretrizes mais importantes nestas pesquisas é melhorar o modelamento do usuário dentro da hipermídia. Observa-se que as aplicações de hipermídia obtêm, normalmente, pequenas informações do usuário através de uma

seqüência determinada de cliques. Técnicas tradicionais de modelamento simbólico tentam obter um pouco mais de informação sobre o usuário em cada clique, mas dificilmente progredirão (especialmente levando em conta o tempo gasto pelo usuário em um único nodo que pode ter pouca significância). Aproximações não-simbólicas podem extrair informação sobre o usuário de sua navegação, como um todo, e poderiam ser usadas, também, para extração automática de conhecimento sobre o documento da hipermídia em um cenário de “espaço irrestrito”. O uso do raciocínio baseado em caso, além disso, pode ajudar a tomar decisões de adaptação em uma situação onde nenhuma regra de adaptação conhecida está disponível.

## **2.2 Algumas Aplicações com Hipermídia Adaptativa**

Muitas estratégias em hipermídia adaptativa têm sido utilizadas em diversas aplicações e algumas, precursoras e representativas na evolução de tecnologias adaptativas, serão apresentadas a seguir.

### **2.2.1 Aplicações de Recomendação e Filtragem**

As interfaces adaptativas com aplicações para a *Web* têm sido úteis para ajudar usuários com sobrecarga de informações. Muitas envolvem filtragem de informação colaborativa ou filtragem baseada no conteúdo e tarefas de recomendação.

A filtragem colaborativa pode ser definida como “predizer artigos interessantes a serem apresentados ao usuário baseando-se em avaliações de vários usuários diferentes”. A recomendação de livros e filmes *on-line* comumente utiliza esta estratégia de filtragem. Por exemplo, lojas de livros *on-line*, freqüentemente, usam sistemas que consideram o livro que o usuário está procurando e, então, recomendam outros livros comprados por usuários que também compraram o livro que o usuário está procurando no momento (LANGLEY, 1999).

A filtragem de conteúdo se refere a “aprender o que os usuários podem estar interessados baseando-se no que aceitaram ou rejeitaram no passado”. Syskill & Webert (PAZZANI et al., 1996) é um exemplo de sistema de interface para *Web* que executa este tipo de filtro. Ele permite aos usuários taxarem a qualidade das páginas que eles navegam na *Web* bem como analisar o conteúdo da página para aprender sobre as preferências do usuário. Esta informação é usada para sugerir *links* de conteúdo que o usuário provavelmente se interessará nas próximas páginas.

### **2.2.2 Menus Adaptativos**

São modos relativamente simples de uma interface se auto-ajustar apresentando uma ordem melhor, conforme as necessidades do usuário. Abordagens destas interfaces adaptativas incluem técnicas como ordenação de itens de menu baseada na frequência de seleção e *split menus*, que demonstram os itens visitados em uma seção separada do topo do menu. Observa-se que, freqüentemente, não são usadas as técnicas de esconder itens neste tipo de aplicação. SEAR & SHNEIDERMAN (1994) introduziram os *split menus* e apresentaram o resultado de sua efetividade, demonstrando serem bem mais eficientes do que menus estáticos.

### **2.2.3 Predição de Comandos Unix**

Os programadores usam, na maioria das vezes, emitir comandos para editar, compilar e rodar programas. Sistemas que sugerem qual o próximo comando que o usuário pode querer executar são exemplos de implementação de interfaces adaptativas. KORVEMAKER & GRENIER (2000) descreveram um sistema adaptativo que tenta prever futuras linhas de comando em um *Shell* desenvolvido em UNIX.

### **2.2.4 Valores Preditos em Formas**

Preencher formulários *on-line* pode ser repetitivo. Sistemas de interface adaptativa têm sido desenvolvidos para prever valores nos campos de formulários, baseando-se em informações completadas anteriormente. KORVEMAKER & GRENIER (1994) descrevem um sistema que auxilia usuários em formulários repetitivos fornecendo valores *default* de campos em branco.

### **2.2.5 Propostas de Tempo de Reunião**

Programar reuniões é outra tarefa repetitiva em que sistemas adaptáveis têm sido aplicados. Estes sistemas podem ajudar os usuários propondo tempos e datas na programação de reuniões. Sugestões que são aceitas ou rejeitadas podem ser usadas no treinamento de casos, em futuras sugestões (ROSS, 2000).

### **2.2.6 Sistemas Tutores Inteligentes (STIs)**

Sistema instrucional é um outro domínio onde técnicas adaptativas podem ser aplicadas. Estes sistemas, freqüentemente, modelam o conhecimento do usuário e ajustam o fluxo futuro de material instrutivo baseado em suas necessidades. Alguns STIs desenvolvidos e que foram precursores de muitas pesquisas são: SCHOLAR

(CARBONELL, 1970), WHY (STEVENS et al., 1977), GUIDON (CLANCEY, 1987), MYCIN (SHORTLIFFE, 1976) entre outros.

### **2.2.7 Programando pela Demonstração**

Um sistema chamado EAGER, desenvolvido por CYPHER (1991), é capaz de aprender e automatizar tarefas repetitivas em interfaces. O EAGER trabalha como um gravador macro que detecta seqüências de comandos que podem ser adequados em uma execução automatizada. Quando o sistema descobre um padrão, ele exhibe uma seqüência de comandos pela mudança de cor do controle da interface que necessita ser ativada. O usuário pode, então, escolher se executa ou recusa a seqüência indicada pelo EAGER.

### **2.2.8 Assessoramento de Rota Adaptativa**

Um sistema adaptativo implementa uma interface por voz para fornecer direções para motoristas. O sistema propõe rotas de destino para o motorista, selecionando caminhos baseado nas informações que incluem a familiaridade do motorista com segmentos da rota e se a rota foi aceita ou foi rejeitada no passado (LANGLEY, 1999).

## **2.3 Estado da Arte**

Além dos trabalhos apresentados anteriormente, muitos outros inovadores têm sido publicados em congressos, jornais e revistas. Alguns destes são descritos, resumidamente, a seguir. Vale ressaltar que não existem muitas publicações apresentando propostas de hipermídia adaptativa com base pedagógica. Provavelmente este fato se deve a complexidade de conceber, projetar e implementar um mecanismo que realize verdadeiramente a adaptação da interface ao perfil do usuário, mecanismo este que se constitui no ponto central desta tese.

*A Cognitive Model for Adaptive Hypermedia Systems* (CABRERA et al, 2001): Estes pesquisadores, como muitos outros, acreditam que sistemas hipermídia e especialmente a *Web*, podem aumentar e melhorar suas funcionalidades pela semântica explícita na estrutura do sistema de informação. No artigo, eles demonstram e justificam a necessidade de um modelo cognitivo na concepção de sistemas hipermídia. Um modelo semântico dinâmico é apresentado para fornecer um controle completo adaptativo e evoluído para o desenvolvimento e manutenção de

hiperdocumentos e uma navegação mais compreensível. O artigo apresenta o KDAEHS, um sistema de educação adaptativo baseado em uma estrutura computacional. A técnica de adaptação permite ao estudante escolher sua própria meta de aprendizado, obter sugestões para uma seqüência de estudo adequada e material apropriado do curso. As estruturas semânticas da informação são extraídas do contexto do curso e armazenadas na forma de gráficos estruturais do conhecimento. Uma máquina adaptativa é implementada em algoritmo Java para gerar uma apresentação adaptativa aos diferentes indivíduos. O trabalho apresenta a arquitetura do KDAEHS e os seus componentes em detalhes.

***Enhancing student learning through hypermedia courseware and incorporation of student learning styles*** (CARVER et al, 1999): Neste trabalho, os autores se esforçaram em melhorar o aprendizado do aluno nos cursos em hipermídia, pela apresentação do material através de diferentes estilos de aprendizagem, pois os estudantes aprendem através de uma variedade de estilos. Anteriormente, os instrutores estavam impossibilitados de usar diferentes estilos de aprendizagem, que fossem efetivos, fora da sala de aula. Para resolver este problema foram concebidas duas soluções. A primeira foi o desenvolvimento de *courseware* em hipermídia, onde é fornecida uma grande variedade de ferramentas que os estudantes podiam usar para preparar suas lições, escolhendo as mais condizentes com seu aprendizado. Uma avaliação de documentos hipertexto e multimídia nos cursos têm revelado que o valor de uma ferramenta de multimídia, para um estudante, varia bastante. Cada estudante utiliza o material de curso de acordo com o seu estilo próprio de aprendizagem. Infelizmente, o excesso de ferramentas confundiu os estudantes, por não serem capazes de fazer escolhas de qual material do curso seria mais condizente com o seu aprendizado. Como resultado, uma segunda alternativa foi adotada. Foi desenvolvida uma interface para hipermídia que fornece uma possibilidade dinâmica na apresentação do material do curso baseada no estilo individual de aprendizado do estudante. O autor acredita que o aprendizado está sendo mais efetivo, com a apresentação do material, conforme o estilo de aprendizagem do estudante.

***Metodologia para a Construção de Interfaces Adaptáveis em Sistemas Tutores Inteligentes*** (SALDIAS, 2002): O trabalho apresenta uma pesquisa que foi realizada com o objetivo de desenvolver Interfaces Adaptáveis em Sistemas Tutores Inteligentes. A pesquisa foi especialmente orientada a satisfazer necessidades

educativas na área de saúde. A adaptação do ambiente onde ocorre o processo de ensino-aprendizagem permite apresentar informações com conteúdos e formas significativas para o aprendiz e permite que este interaja com os objetos de estudo, de acordo com suas preferências e capacidades cognitivas. Para isto, foi estudada uma forma de combinar várias teorias cognitivas, como os Estilos de Aprendizagem, o Construtivismo, o Comportamentalismo e as Teorias das Inteligências Múltiplas. Isto permitiu obter estratégias e táticas que permitem selecionar os ambientes mais adequados para cada aprendiz. Com efeito, as teorias consideradas fornecem características que permitem identificar um aprendiz, fornecem métodos para poder diagnosticá-las e sugerem ambientes altamente afins com cada característica identificada. Desta forma o problema de adaptação foi definido por um conjunto de variáveis cujas relações definem o tipo de interface que deve ser construída para cada tipo de aprendiz. Uma Rede Neural Artificial do tipo IAC, modelo De Azevedo, foi projetada para implementar o mecanismo de adaptação da interface do Sistema Tutor Inteligente. Com testes realizados a rede apresentou desempenho adequado, permitindo o desenvolvimento de uma metodologia para projetar Interfaces Adaptativas em Sistemas Tutores Inteligentes.

***An execution system for variable tutoring processes*** (VOLZS et. al., 2002)

Nestes últimos anos, uma grande quantidade de sistemas de treinamento, com o uso do computador, tem sido implementada. Considerando que muitos aspectos destes sistemas são, necessariamente, dependentes do domínio de aplicação, muitas de suas partes são similares entre si e necessitam de um componente de execução que guie e controle a interação entre o estudante e os dados do domínio de aplicação, por exemplo, bancos de dados. Para modificar essas propostas, os autores desenvolveram um sistema de execução, independente do domínio, que é adaptável e altamente flexível e que permite a realização de diferentes estratégias de aprendizagem em um cenário *Web*. Este sistema apóia a adaptação do conteúdo da página, a navegação e a orientação. O sistema de execução pode ser usado em Sistemas Tutores Inteligentes baseado na *Web* ou não, em Hipermídia Adaptativa e, até mesmo, nos tradicionais Sistemas de Treinamento Baseado no Computador. O sistema de execução não prescreve o estilo de aprendizagem, o qual é responsabilidade de cada fomentador do sistema que define, conforme a funcionalidade e o paradigma de aprendizado, o que será realizado. O sistema de execução é implementado em Java, que é independente

de plataforma, podendo ser usado em aplicações baseada na *Web* e um banco de dados ou arquivos XML (*Extensible Markup Language*) permite uma troca fácil de dados. Além de guiar a interação entre o estudante e dados, o sistema de execução é enriquecido com instalações de “modelo de verificação”, que é um mecanismo de verificação de aprendizagem do material e pode ser usado para apoiar os autores no treinamento de caso ou sessões instrucionais, conferindo a árvore de navegação. O sistema descrito foi projetado para ser utilizado na *Web* e o teste foi realizado através do estudo de caso denominado: ‘*Docs ’ N Drugs*’ que é uma policlínica virtual. Este sistema é utilizado no curso da medicina da Universidade de Ulm (Alemanha), desde 2000. ‘*Docs ’ N Drugs*’ realiza um estudo de caso e o estilo de aprendizagem é orientado ao problema e faz uso de todas as facilidades de adaptação na execução do sistema.

### **3. INTELIGÊNCIAS MÚLTIPLAS**

Gardner estudou grande parte dos filósofos do século XX, período no qual as capacidades simbólicas da humanidade foram especialmente estudadas. Isso porque esta capacidade é considerada, pela filosofia moderna, como os caminhos da evolução da inteligência. E que, a principal razão para esta diferença significativa entre a inteligência humana e a inteligência dos demais seres é a crescente habilidade de lidar com “veículos simbólicos” – símbolos – para comunicar-se e expressar-se. O uso de símbolos deu origem à arte, à linguagem, à ciência, conquistas cognitivas da humanidade (FONSECA, 2002).

Psicólogo construtivista muito influenciado por Piaget, Gardner acredita que processos psicológicos independentes são empregados quando o indivíduo lida com símbolos lingüísticos, numéricos, gestuais ou outros. E, devido a isto, criou uma lista de candidatas à “inteligência humana”, as quais eram potências intelectuais que forneciam ao homem capacidade e habilidade de encontrar, resolver e criar problemas. Esta lista foi baseada em opiniões de diversos cientistas, filósofos e psicólogos.

De posse desta lista, Gardner confrontou cada uma das “candidatas” com uma série de critérios de avaliação, para encontrar sinais de que esta ou aquela teria ou não condições de ser considerada inteligência. Desta forma, Gardner propôs, inicialmente, sete tipos de inteligência que seriam “independentes” uma das outras.

Assim, em 1985, Gardner desenvolveu a Teoria das Inteligências Múltiplas (IM), sendo esta uma alternativa para o conceito de inteligência como uma capacidade inata, geral e única, que permite aos indivíduos uma performance, maior ou menor, em qualquer área de atuação (GAMA, 1998).

Atualmente são consideradas oito IMs, quais sejam: Lingüístico-verbal, Lógico-matemática, Visual-espacial, Cinestésico-corporal, Musical, Interpessoal, Intrapessoal e Naturalista. Porém, esse conjunto de oito inteligências, de forma alguma, constitui um paradigma fechado. Novos estudos abrem perspectivas para a ampliação desse limite e, mesmo Gardner, aprofunda pesquisas para, a essas oito, acrescentar a inteligência que denomina Existencial<sup>3</sup> (ANTUNES, 2002).

Gardner postula, ainda, que essas competências intelectuais são relativamente

independentes, têm sua origem e limites genéticos próprios, possuem substratos neuro-anatômicos específicos e dispõem de processos cognitivos peculiares. Portanto, os seres humanos dispõem de graus variados de cada uma dessas inteligências, sendo estas combinadas e organizadas de maneiras diferentes. Estas capacidades intelectuais é que são utilizadas para resolver problemas e desenvolver as demais atividades cotidianas (ARMSTRONG & GARDNER, 2001).

É importante ressaltar que segundo Gardner, embora estas inteligências sejam independentes uma das outras, elas raramente atuam de forma isolada. Algumas atividades exemplificam uma inteligência, mas na maioria dos casos, as ocupações demonstram bem a necessidade de uma combinação delas (ARMSTRONG & GARDNER, 2001).

As informações sobre cada uma das Inteligências Múltiplas, que foram necessárias para o desenvolvimento deste trabalho, são descritas a seguir. Informações sobre as outras se encontram em GARDNER (2001), ABRAE (2004), CAMPBELL (2000) e demais autores.

### **3.1.1 A Inteligência Lingüístico-verbal**

Esta inteligência está relacionada às palavras e à linguagem escrita e falada. Consiste na capacidade de pensar com palavras e de usar a linguagem para expressar e avaliar significados complexos. Domina a maior parte do universo educacional ocidental (ABRAE, 2004).

### **3.1.2 A Inteligência Lógico-matemática**

Esta inteligência está relacionada ao raciocínio científico ou intuitivo, embora processos de pensamento dedutivo também estejam envolvidos. Possibilita calcular, quantificar, considerar proposições, hipóteses e realizar operações matemáticas complexas (GARDNER, 2001).

### **3.1.3 A Inteligência Visual-espacial**

Esta inteligência inclui a habilidade de criar imagens mentais, portanto, o senso de visão e a capacidade de visualização espacial de um objeto estão bastante desenvolvidos. Permite que a pessoa perceba as imagens, recrie, transforme ou as modifique, movimente os objetos através do espaço e produza ou decodifique

---

<sup>3</sup> Inteligência Existencial: sensibilidade e capacidade para analisar perguntas “profundas” sobre existência humana, como o significado de vida, por que nós morremos, e como nós chegamos aqui.

informações gráficas (GAMA, 1998).

### 3.1.4 A Inteligência Cinestésico-corporal

Esta inteligência relaciona-se com o movimento físico, proporcionando a habilidade de usar o corpo para expressar uma emoção (dança e linguagem corporal), jogar (esporte) e criar um novo produto (invenções). Permite que a pessoa manipule objetos e desenvolva habilidades físicas (GARDNER, 2001).

## 3.2 Identificação das Inteligências Múltiplas

Segundo Gardner criar oito testes, um para cada inteligência, pode não ser muito eficaz, podendo repetir o mesmo tipo de rotulação que ocorreu nos testes únicos de inteligência. Muitos estudos, porém, têm sido desenvolvidos, desde a apresentação da Teoria de Inteligência Múltiplas, para sua identificação de modo mais rápido. Alguns testes desenvolvidos são: MIDAS<sup>4</sup> (*Multiple Intelligences Developmental Assessment Scales*), PAM (*Performance Assessment in Math*), PAL<sup>5</sup> (*Performance Assessment in Language*), *Multiple Intelligences Secondary*<sup>6</sup>, *Seven Intelligences Checklist*<sup>7</sup>, Software de auxílio à detecção de Inteligências Múltiplas (De LIZ & SCHÜTZ, 2003) e outros.

Neste trabalho, os testes desenvolvidos por Celso Antunes são utilizados como base para identificar as Inteligências Múltiplas. Foi escolhido este autor pelo fato dele trabalhar com educação, tendo publicado alguns livros a respeito de IM e por ser um teste adequado à realidade brasileira (ANTUNES, 1998, 2001a, 2001b, 2001c e 2002). Não foi encontrado nenhum outro autor brasileiro que tenha desenvolvido um teste para tal identificação.

Mais detalhes sobre este teste, bem como discussão sobre a evolução, a importância do estudo cognitivo, a inteligência humana e as principais teorias de aprendizagem, podem ser encontrados no Cap.3 (RP/D-IEB-01/2004).

---

<sup>4</sup> MIDAS - *Multiple Intelligences Developmental Assessment Scales*  
<http://www.angelfire.com/oh/themidas/index.html> Acessado em julho de 2004.

<sup>5</sup> <http://www.thirteen.org/edonline/concept2class/month1/> Acessado em julho de 2004.

<sup>6</sup> [http://www.bgfl.org/bgfl/activities/intranet/ks3/ict/multiple\\_int/questions/questions.cfm](http://www.bgfl.org/bgfl/activities/intranet/ks3/ict/multiple_int/questions/questions.cfm) Acessado em julho de 2004.

<sup>7</sup> <http://www.mitest.com/o7inte~1.htm> Acessado em julho de 2004.

## 4. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

O objetivo central da Inteligência Artificial (IA) é simultaneamente teórico, com a criação de teorias e modelos para as capacidades cognitivas e, prático, com a implementação de sistemas computacionais baseados nestes modelos. Os modelos e teorias da IA são implementados em um computador e demonstrados diretamente através da ação inteligente do programa (BITTENCOURT, 1998). Existem três abordagens básicas para a análise por IA: os Paradigmas Simbólico, Conexionista e Evolucionário (RICH & KNIGHT, 1994; BARRETO, 2002).

A proposta metodológica desta tese faz uso de redes neurais tipo MLP (*Multilayer Perceptron*) e tipo IAC (*Iterative Activation and Competition*), o que implica que o Paradigma Conexionista é a única abordagem da IA aqui apresentada.

No Paradigma Conexionista a estrutura do cérebro biológico é imitado na esperança da emergência de um comportamento inteligente, em oposição ao Paradigma Simbólico onde um comportamento inteligente é simulado.

Para Haykin (2001): “Uma rede neural artificial é uma máquina que é projetada para “modelar” a maneira como o cérebro realiza uma tarefa particular ou função de interesse. A rede é normalmente implementada utilizando-se componentes eletrônicos ou é simulada por programação em um computador digital”.

Mais objetivamente, as redes neurais consistem de um ou mais conjuntos de “neurônios” artificiais interconectados conforme uma topologia. Estes neurônios, geralmente dispostos em “camadas”, formam redes que, uma vez devidamente treinadas, são capazes de processar matematicamente dados de entrada disponibilizando, na saída da rede, uma “resposta”.

De Azevedo (1997) define: “Redes neurais são sistemas complexos, constituídos por elementos representando algumas das características dos neurônios que constituem o sistema nervoso dos seres vivos e permitindo sua interação com o ambiente que o cerca”. Elas se assemelham ao cérebro em dois aspectos:

- O conhecimento é adquirido pela rede a partir do “ambiente” através de um processo de aprendizagem.
- As forças de conexão entre neurônios, conhecidas como pesos sinápticos, são utilizadas para armazenar o conhecimento adquirido (HAYKIN, 2001).

Boas referências para um melhor entendimento das Redes Neurais Artificiais são De AZEVEDO (2000), HAYKIN (2001).

A seção seguinte apresenta o modelo de rede IAC usado neste trabalho. A rede MLP, que também foi utilizada no desenvolvimento da metodologia, é descrita sucintamente no Cap.4 (RP/D-IEB-01/2004) e mais informações podem ser obtidas nas bibliografias mencionadas.

## **4.1 O Modelo IAC (Interactive Activation and Competition)**

O modelo IAC é uma arquitetura de rede apresentada originalmente por Rumelhart e McClelland (1986). Os mecanismos básicos relacionados a esta rede foram extensivamente estudados por inúmeros outros pesquisadores, como Levin (1976) e Grossberg (1978). Posteriormente esta rede foi estudada e modificada por De Azevedo (1993). Nesta seção é apresentado o modelo original de Rumelhart que é o utilizado neste trabalho.

A arquitetura da rede neural IAC apresenta uma topologia particular com características de memórias bidirecionais hetero-associativas o que a torna bastante apropriada para a implementação de mecanismos de adaptação para interfaces em Hipermídia Adaptativa.

Algumas propriedades apresentadas pelas memórias associativas e pelo modelo IAC que podem ser desejáveis são:

- Recuperação das propriedades de um conceito a partir de seu nome. Ou seja, a rede IAC como a rede neural humana tem a capacidade de recuperar as características de um objeto (ou pessoa) conhecido, a partir de seu nome.
- Recuperação da descrição total de um conceito a partir de uma descrição parcial. Para um conceito (objeto ou pessoa) já conhecido pela rede, a apresentação de uma descrição parcial de suas características permite a associação com o nome e a obtenção de uma descrição total (das características do conceito).
- Recuperação do nome de um conceito a partir de suas características ou propriedades. A rede neural (artificial ou humana) tem possibilidade de recuperar o nome do conceito a partir de suas características ou propriedades.

### **4.1.1 Arquitetura**

Uma rede IAC, segundo sua arquitetura original, apresenta propriedades específicas tais como: os neurônios são organizados em grupos ou *pools* competitivos, cada *pool* representando um “conceito”, interligados por um *pool* oculto (espelho ou

escondido) através de ligações excitatórias. Os neurônios de cada *pool* representam “valores” ou “características” dos conceitos. Existem duas classes de unidades (neurônios): algumas que podem receber entradas diretamente de fora da rede e outras que não podem. As primeiras são chamadas de unidades visíveis e as últimas unidades escondidas (aquelas pertencentes ao *pool* oculto). Nesta rede o usuário pode especificar um padrão de entrada para as unidades visíveis mas, por convenção, não é permitido especificar entrada externa para as unidades ocultas (De AZEVEDO et al., 2000).

A Figura 4.11 apresenta um exemplo de rede com 6 *pools* (*pools a, b, c, d, e e oculto*). O *pool* central, denominado de *pool* oculto, geralmente é um espelho do *pool* com maior número de neurônios da rede e tem como finalidade fazer a ligação entre os diferentes conceitos representados pelos outros *pools*. Nesta figura, o *pool* com maior quantidade de neurônios é o *pool c* (5 neurônios) e o *pool* oculto é igual ao *pool c*.

Cada neurônio do *pool* oculto é ligado a todos os neurônios dos *pools* visíveis através de conexões excitatórias. Dentro de um mesmo *pool* (visível ou oculto) existem conexões inibitórias bidirecionais entre cada neurônio e todos os outros, ocasionando assim, um comportamento que é denominado de competitivo. As conexões excitatórias entre os *pools* são bidirecionais e, devido a isto, acabam criando condições para o surgimento de um processamento interativo, pois o processamento em um determinado grupo influenciará e também será influenciado pelo processamento que ocorre nos outros grupos da rede.

Nesta rede não há processo de treinamento e os pesos (que representam o conhecimento) são estabelecidos em uma matriz que representa as ligações entre *pools* diferentes e o mesmo *pool* (relações existentes entre cada característica de cada conceito, através do *pool* escondido, bem como a relação entre os neurônios de um mesmo *pool*). Os valores dos pesos podem ser 0, 1 ou -1 representando: nenhuma relação, existência de relação (apenas entre neurônios de *pools* diferentes) e relação de inibição (apenas entre os de mesmo *pool*), respectivamente (McCLELLAND & RUMELHART, 1989).

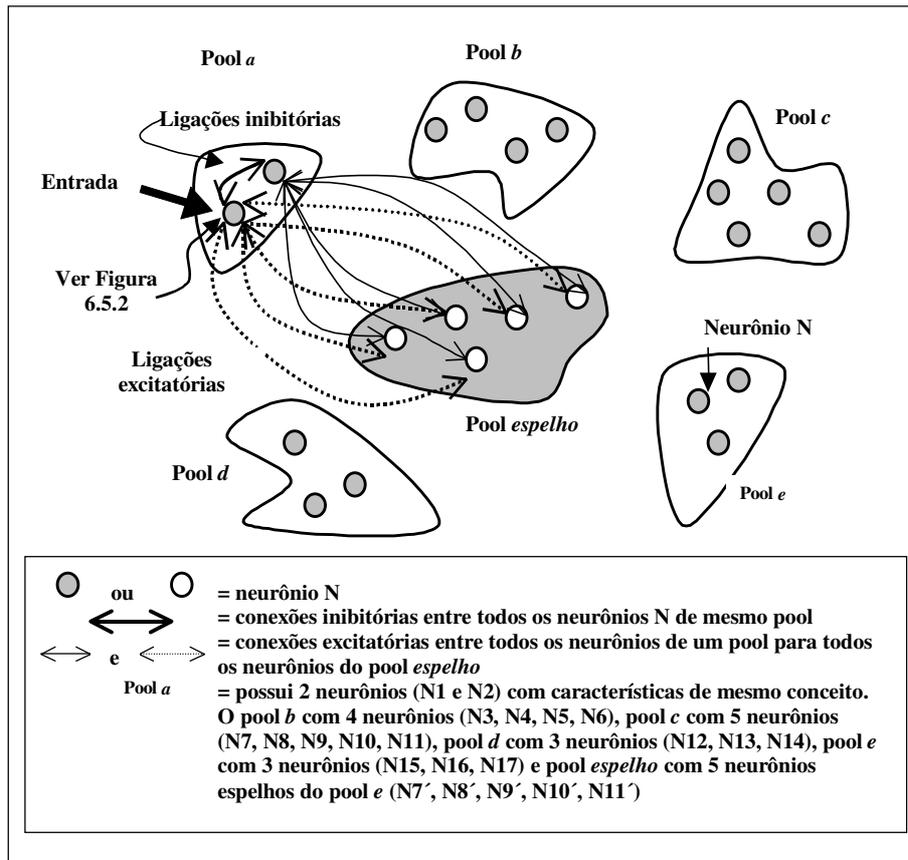


Figura 4.11 Representação da Rede Neural IAC. Os neurônios estão divididos em pools, sendo que o pool central (em cinza) é o pool oculto ou espelho e não recebe, portanto, excitação externa. Este pool é um espelho do pool com a maior quantidade de neurônios. Esta figura apresenta a ligação de apenas um pool, mas todos os outros neurônios de todos os outros pools possuem a mesma ligação com os neurônios do pool oculto e com os neurônios do mesmo pool. As ligações entre os neurônios de mesmo pool são inibitórias e a ligação entre os neurônios de um pool e os neurônios do pool oculto são excitatórias.

Uma característica interessante desta rede é que qualquer neurônio, exceto os do *pool* oculto, pode ser considerado como entrada ou saída (bidirecionalidade) e, além disso, não há uma quantidade fixa de neurônios a ser excitada.

Excitando-se um neurônio (característica de um conceito), a rede tende a procurar um novo estado de equilíbrio. Os valores de ativações de todos os outros neurônios, depois de encontrado o estado de equilíbrio, correspondem às saídas desejadas.

#### 4.1.2 A Inserção de Conhecimento na Rede IAC

Os valores dos pesos determinam o chamado “conhecimento” da rede e são representados em uma matriz simétrica  $n \times n$ , onde o valor de  $n$  é igual ao número total de neurônios na rede.

Nessa matriz, cada linha e cada coluna representam um neurônio. Desta

forma, ao preenchê-la estamos estabelecendo o valor do peso da conexão entre os neurônios.

Para melhor entendimento segue um exemplo de uma rede que representa propriedades de animais. Os conceitos (nome dos *pools*) são: animal, temperatura do sangue, espécie, cujas características (neurônios) são: gato, cachorro e cobra; sangue quente, sangue frio; réptil e mamífero. Este conhecimento será especificado na matriz, conforme Figura 4.1.2.

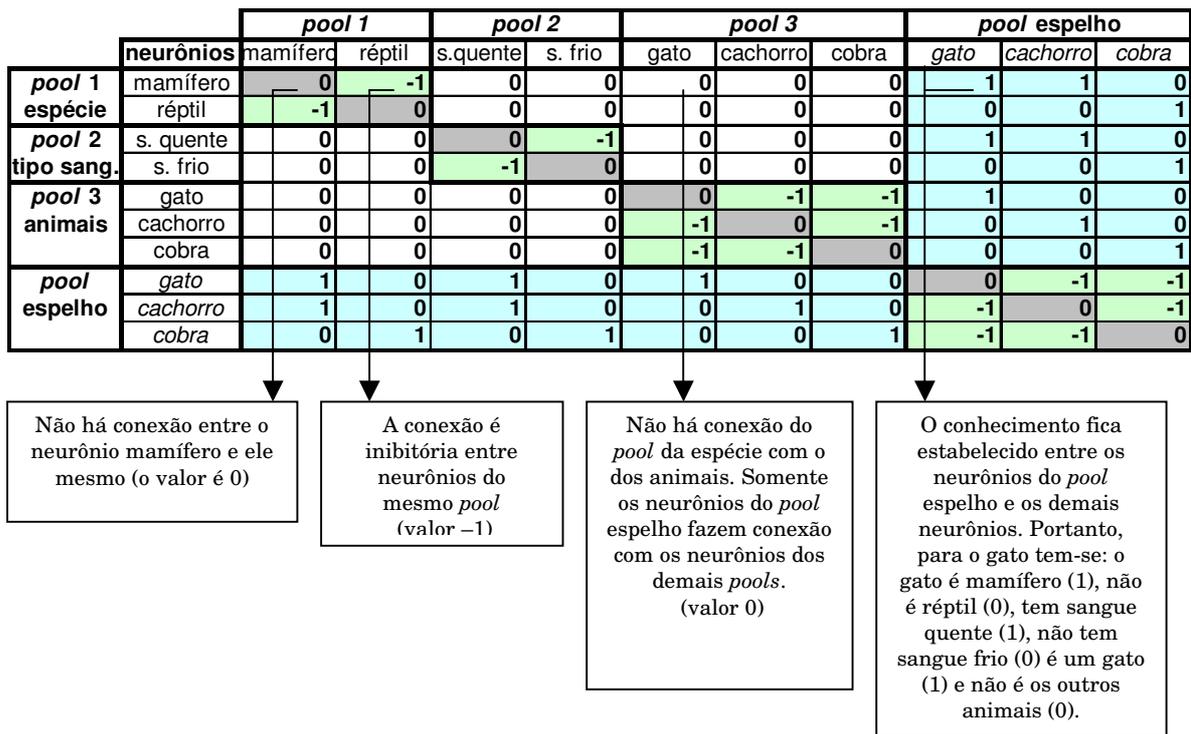


Figura 4.1.2 Exemplo da matriz de pesos da rede dos animais. A matriz é simétrica com diagonal principal nula.

A arquitetura desta rede terá 4 *pools*: um *pool* se refere aos animais, outro à temperatura do sangue destes, outro à espécie e o último que será o espelho do *pool* animais. Verifica-se que os *pools* são agrupados com elementos (neurônios) referentes à mesma característica, ou seja, no *pool* animais, vão existir três neurônios: um neurônio que se refere a gato, outro ao cachorro e, outro à cobra. No *pool* temperatura existirá dois neurônios: sangue frio e quente e no *pool* espécie: neurônio réptil e mamífero. Deve-se inserir na rede o seguinte conhecimento: o gato possui sangue quente e é mamífero; o cachorro possui sangue quente e é mamífero e a cobra possui sangue frio e é réptil.

A matriz sempre possuirá uma diagonal principal nula, o que garante a

estabilidade do sistema. As ligações dentro dos mesmos *pools* são inibitórias (-1). A matriz é preenchida com valores (0), entre os neurônios dos *pools* visíveis, pois não há ligação entre eles. A parte principal da matriz, onde o conhecimento é realmente estabelecido, corresponde aos pesos entre os neurônios do *pool* espelho e os demais neurônios dos outros *pools*. Todos estes valores numéricos são utilizados no algoritmo da rede neural.

### 4.1.3 Ativação Dinâmica

Os neurônios em uma rede IAC estão em contínua ativação com valores variando entre um máximo e um mínimo, apesar de que suas saídas (o sinal que eles transmitem para outros neurônios) não são necessariamente idênticas as suas ativações. Neste modelo a saída de cada neurônio é determinada pela ativação do neurônio menos o *threshold* (limiar), enquanto esta diferença for positiva; quando a ativação cai abaixo do *threshold*, a saída é fixada em 0 (zero) (SIGAKI et al., 1997).

A ativação de um neurônio na rede IAC evolui gradualmente no tempo. Na idealização matemática do modelo os autores conceberam um processo de ativação completamente contínuo. Porém na simulação deste, fizeram uma aproximação pela “quebra” de tempo em seqüências de passos descontínuos (De AZEVEDO et al., 2000).

Os neurônios em uma rede IAC mudam suas ativações conforme uma função que considera tanto a ativação atual do neurônio como também a entrada da rede procedente de outros neurônios, ou oriunda de fora da rede para este neurônio. A entrada para um neurônio particular (neurônio<sub>i</sub>) é simplesmente a soma da influência de todos os outros neurônios da rede mais a entrada externa, conforme a Figura 4.13.

A influência de outros neurônios (neurônio<sub>j</sub>) é apenas o produto da saída do neurônio (*output<sub>j</sub>*), multiplicado pelo peso da conexão entre o neurônio<sub>i</sub> e o neurônio<sub>j</sub>. A entrada de um neurônio<sub>i</sub> é dada por (McCLELLAND & RUMELHART, 1989):

$$Net_i = \sum_j w_{ij} output_j + extinput_i \quad (4.1.1)$$

Onde:

*Net<sub>i</sub>* = entrada do neurônio ou unidade i

*w<sub>ij</sub>* = peso da conexão da unidade j para a unidade i

*output<sub>j</sub>* = saída da unidade j

*extinput<sub>i</sub>* = entradas externas

*j* = 1, 2, 3 ...último neurônio da rede

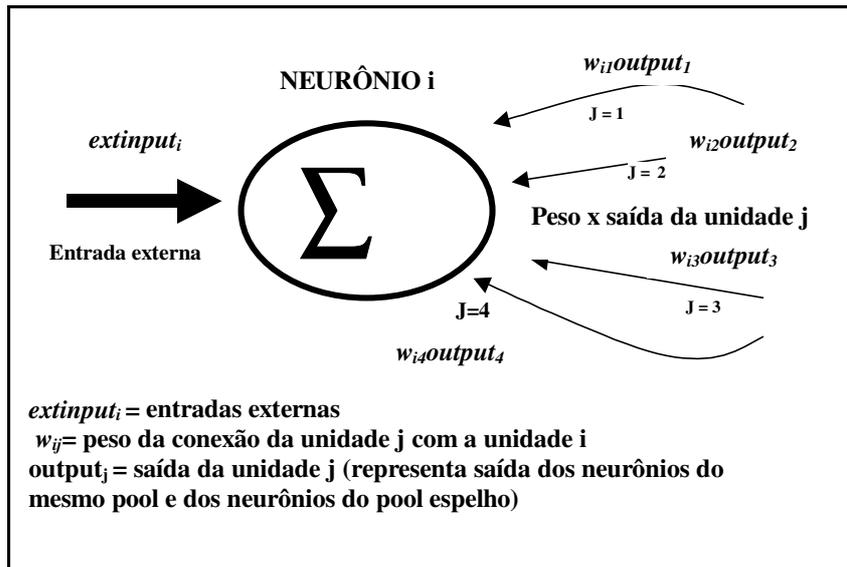


Figura 4.13 Representação do neurônio  $N_i$ , destacado na Figura 4.11. Esta Figura é uma representação das ativações que ocorrem no neurônio  $i$ , de fora da rede e oriundos de outros neurônios (do mesmo *pool* e dos outros *pools*).

Na Equação 4.1.1 o índice  $j$  muda após ter efetuado todas as conexões com o neurônio  $i$ .

No modelo IAC, a ativação da unidade  $i$   $[a_i]$  é igual à saída da unidade  $j$ ,  $[a_i] = (output_j)$ . O valor da expressão  $[a_j]$  vale  $a_j$  para todo  $a_j > 0$ ; caso contrário o valor é zero. Ou seja, o valor de  $[a_j]$  é limitado em 0, conforme mostrado abaixo:

$$a_i = \begin{cases} a_j & \text{se } a_j > 0 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4.2)$$

Uma vez que a entrada de um neurônio (*netinput*) tenha sido calculada, esta mudará a ativação dos neurônios seguintes conforme as expressões a seguir:

Se  $net_i > 0$

$$\Delta a_i = (\max - a_i) net_i - decay(a_i - rest) \quad (4.1.3)$$

Caso contrário,

$$\Delta a_i = (a_i - \min) net_i - decay(a_i - rest) \quad (4.1.4)$$

Nestas equações,  $\max$ ,  $\min$ ,  $rest$ , e  $decay$  são todos parâmetros da rede. Em geral, os valores são  $\max = 1$ ,  $\min \leq rest \leq 0$  e  $decay$  está entre 0 e 1. Onde  $a_i$  assume valores para se estabilizar entre o intervalo  $[\min, \max]$ .

No modelo da rede IAC existem, portanto, muitos parâmetros que podem ser controlados pelo usuário. Estes são (MCCLELLAND & RUMELHART, 1989):

**Max:** parâmetro de ativação máxima;

**Min:** parâmetro de ativação mínima;

**Rest:** valor de ativação de repouso para o qual as ativações tendem a estabelecer-se na falta de uma entrada externa;

**Decay:** taxa de decaimento, a qual determina a força da tendência de retorno ao nível de ativação de repouso;

**Estr:** representa a força das entradas externas;

**Alpha:** gradua a força das entradas excitatórias sobre as unidades provenientes de outras unidades da rede;

**Gamma:** gradua a força das entradas inibitórias sobre as unidades provenientes de outras unidades da rede.

## 4.2 Considerações finais (Estado da Arte)

Devido às características intrínsecas deste modelo de rede, ela pode ser considerada como uma metáfora do raciocínio humano. McClelland e Rumelhart utilizaram, inicialmente, o mecanismo para: modelar reconhecimento de palavras; em banco de dados por conteúdo-endereçável (McCLELLAND & RUMELHART, 1981); em reconhecimento de voz (ELMAN & McCLELLAND, 1983); para recuperação de informações (gerais e específicas) do conhecimento armazenado sobre exemplos de indivíduos (McCLELLAND & RUMELHART, 1989).

Percebe-se, portanto que essa memória associativa pode ser “trabalhada” como uma memória conteúdo-endereçável desde que seja possível a recuperação do padrão armazenado pelo uso de entradas incompletas ou versões corrompidas desta (conclusão e reconhecimento de padrão).

Salienta-se também que a rede IAC não é muito difundida e utilizada, mas é possível encontrar alguns trabalhos que a utilizam, geralmente, para reconhecimento de padrões.

De Azevedo (1993) propôs um modelo alternativo para redes IAC em que os pesos das conexões podiam assumir qualquer valor real no intervalo  $[-1, 1]$ . Para mostrar a aplicabilidade do modelo um estudo de caso foi realizado para a solução de um problema de diagnóstico diferencial em reumatologia, considerando quatro patologias, dezessete sintomas, três exames laboratoriais e vinte quatro casos conhecidos.

Burton e Bruce (1992) desenvolveram um mecanismo de aprendizado para o

modelo IAC, pois como esta não incorpora mecanismos de aprendizagem como as demais redes de representação distribuídas, o seu uso em modelamento psicológico era limitado. Este mecanismo aprende automaticamente novas representações e, apresenta muitas propriedades desejáveis das redes distribuídas (BURTON & BRUCE, 1992; BURTON, 1994).

Stevenage et al. (1999) também desenvolveram um trabalho de modelamento para reconhecimento e aprendizagem de pessoas utilizando o modelo IAC. Neste trabalho, a arquitetura IAC é estendida como modelo de “aquisição” e reconhecimento de pessoas e a influência do fornecimento do nome no processo de aprendizagem é pesquisada. Este trabalho pesquisa, portanto, a possibilidade de se usar a rede neural como um método de recuperação, em um sistema baseado em casos.

Nascimento (1994) desenvolveu um trabalho aplicando redes neurais artificiais para resolver problemas de otimização e controle dinâmico. Demonstrou como a rede IAC pode ser usada para resolver certos problemas de otimização e, para tal, apresentou em detalhes como implementar um conversor analógico-digital de 2 bits.

No trabalho de Sigaki (1997) foi desenvolvido um programa para a implementação da rede IAC, contendo as versões de Rumelhart e McClelland, de Grossberg e a De Azevedo. Para validar o sistema e exemplificar o estudo da abordagem foi construído um sistema de Apoio a Decisão na Área Médica (problema de Diagnóstico Diferencial em Reumatologia).

Um trabalho interessante em psicologia experimental comparou o modelo biológico com a rede neural do tipo IAC. Este trabalho procurou evidenciar o tempo do cérebro para acessar fatos biográficos e nomes de pessoas familiares. Ou seja, verificou que o ser humano, ao ver pessoas familiares, recorda de informações biográficas destas com maior rapidez e precisão do que o nome. Modelos de fase serial explicam este padrão sugerindo que o acesso ao nome segue a recuperação de informação semântica. Em contraste, no modelo IAC, ambos os processos começam juntos, mas a recuperação do nome é mais lenta por causa das peculiaridades estruturais. Após testes, foi verificado que o comportamento cerebral é semelhante ao da rede IAC e não ao modelo que se acreditava (RAHMAN et al., 2002).

No Congresso Brasileiro de Automática (2002) foi apresentado um trabalho que descreve um sistema inteligente para tomada de decisões, relacionadas à responsabilidade por danos em equipamentos de consumidores, em uma

Concessionária de Distribuição de Energia Elétrica. O sistema que utiliza a rede IAC está sendo testado em situações reais. Os resultados mostram sua capacidade de informações suplementares necessárias à obtenção de diagnósticos rápidos e precisos, na tomada de decisões sobre avarias aos consumidores (GARCEZ *et al.*, 2002).

No Instituto de Engenharia Biomédica um trabalho desenvolvido por Saldias (2002), propôs a utilização de uma rede IAC modificada pelo modelo De Azevedo (1993), para o desenvolvimento de uma metodologia para a Construção de Interfaces Adaptáveis em Sistemas Tutores Inteligentes.

Apresentando uma solução inédita e totalmente diferenciada do trabalho proposto por Saldias, neste trabalho foram utilizadas as redes neurais MLP e IAC original para o desenvolvimento de adaptação de interface. O foco principal é o mecanismo de adaptação e este poderá ser utilizado em qualquer *software* que necessite de adaptação, tais como Sistemas Tutores, Sistemas Tutores Inteligentes, Hipermídias Adaptativas e outros.

## 5. METODOLOGIA DESENVOLVIDA

Hipótese: É possível o desenvolvimento de um mecanismo de adaptação em interfaces para sistemas hipermídia utilizando-se da Rede Neural Artificial do Tipo IAC, modelo original de Rumelhart (McCLELLAND, 1981).

Para a comprovação da Hipótese a metodologia desenvolvida foi estruturada em três módulos, quais sejam, o Módulo do Usuário (MU), o Módulo Gerador de Adaptação (MGA) e o Módulo de Interface (MI) e um estudo de caso foi implementado.

O Módulo do Usuário é responsável pela determinação das características do usuário. O Módulo Gerador de Adaptação pelo mecanismo de adaptação do sistema. Já o Módulo de Interface é responsável não só pela apresentação do sistema como também pela interação deste com o usuário.

O estudo de caso consiste na implementação de um site adaptativo que, utilizando-se da metodologia proposta, disponibiliza um manual de operação de um monitor multiparamétrico que é um equipamento eletromédico utilizado em Unidades de Tratamento Intensivo (UTI), dentre outras, de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS), para acompanhamento dos sinais vitais do paciente.

Nesta aplicação, o Módulo de Interface, responsável pela apresentação da interface adaptativa, interage com o usuário (apresenta e recebe respostas do teste de inteligências múltiplas, fornece conteúdo, obtém *feedback* do usuário, etc.) e estabelece constante comunicação com os outros módulos (Módulo do Usuário e Módulo Gerador de Adaptação), conforme ilustrado na Figura 5.1.

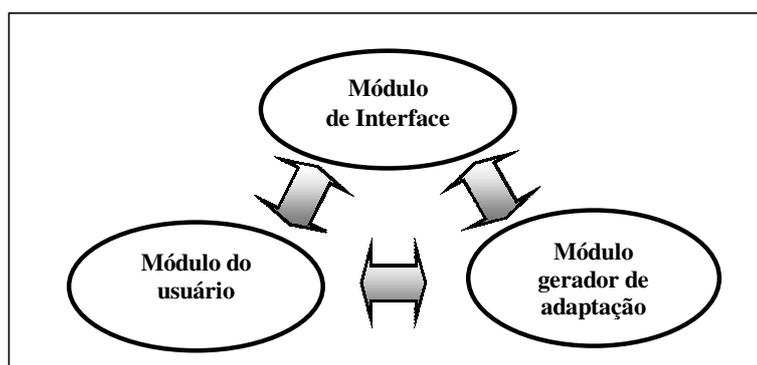


Figura 5.1 Comunicação entre os Módulos de Interface, do Usuário e Gerador de Adaptação.

Estes módulos, bem como o estudo de caso, serão apresentados nas seções seguintes.

## 5.1 Módulo do usuário

O Módulo do Usuário (MU) é responsável pela determinação das características do usuário (inteligências múltiplas) as quais são usadas na adaptação do sistema. Para a determinação de tais características, o usuário vai fornecer os dados necessários preenchendo um teste de múltipla escolha, o qual deverá estar presente na primeira página do site que é apresentado e “controlado” pelo Módulo de Interface (MI). Portanto, para ser possível a realização da adaptação com os requisitos desejados, os dados dos usuários são obtidos através do MI, o qual se “comunica” com o MU, onde são determinados os valores de suas inteligências múltiplas. A Figura 5.2 apresenta este processo, qual seja: os dados necessários sobre o usuário são obtidos no MI e transmitidos para o MU, onde são processados e fornecidos ao MGA, o qual define a adaptação a ser realizada no conteúdo apresentado através do MI.

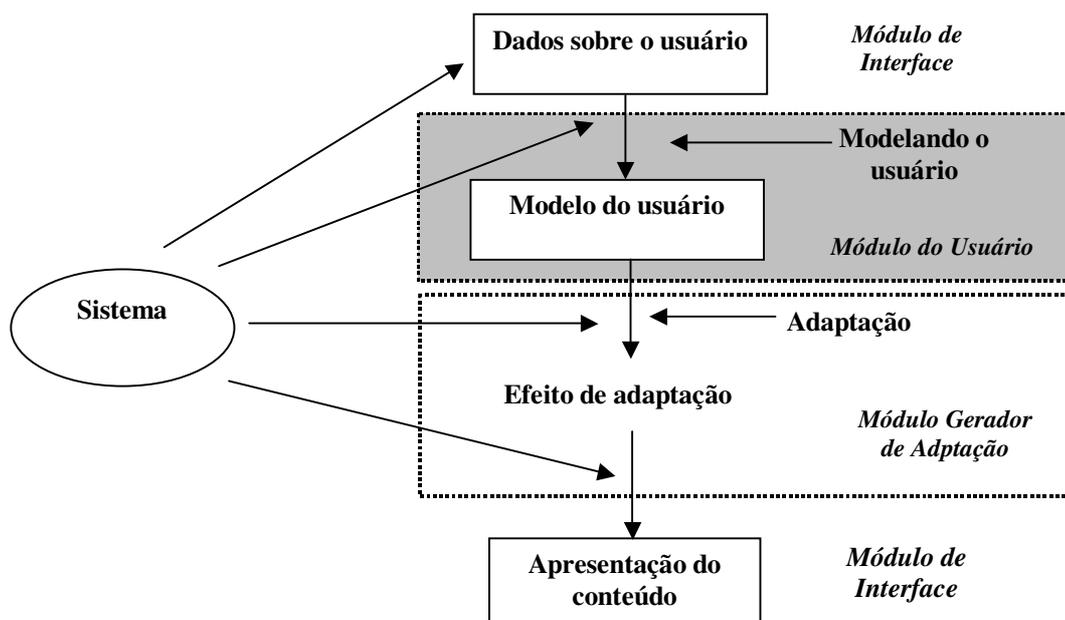


Figura 5.2 Representação da “comunicação” do Módulo do Usuário com os demais módulos.

A identificação das referidas IMs está apoiada nos estudos de profissionais da área (pedagogos, psicólogos, etc.) e um método, dentre diversos desenvolvidos por eles, seria através da realização de teste de múltipla escolha. Neste trabalho será utilizado o teste desenvolvido pelo pedagogo Celso Antunes (ANTUNES, 2001c).

Celso Antunes desenvolveu um teste de múltipla escolha constituído de oito módulos, um para cada Inteligência Múltipla, totalizando 150 perguntas. Os módulos para determinação do valor das IMs Lingüístico-verbal, Visual-espacial e

Intrapessoal são constituídos de 20 perguntas cada. Já os módulos para as IMs Lógico-matemática, Musical, Cinestésico-corporal, Interpessoal e Naturalista são constituídos de 18 perguntas cada (ANTUNES, 2001c). Cabe observar que, cada um destes módulos é independente um do outro e que os resultados do teste para cada módulo são notas que variam de 1 a 4 (com incremento de 0,1).

Segundo Gardner (1996), todos possuímos os mesmos instrumentos para chegar ao conhecimento, mas não com a mesma intensidade e, devido a isto, aprendemos de formas diferentes. Uns têm mais facilidade de aprender através da imagem, outros através da fala, da música, do movimento, do isolamento ou da cooperação. Mais ainda, as pessoas apresentam traços integrados de diversas inteligências e, dessa forma, não é possível enquadrar os indivíduos em apenas uma inteligência. Conseqüentemente, do ponto de vista do processo de ensino-aprendizagem, seria interessante conhecer as inteligências preponderantes em cada indivíduo de maneira a determinar a forma de apresentação mais adequada do conteúdo.

Neste trabalho, somente quatro Inteligências Múltiplas foram consideradas (Inteligências Lingüístico-verbal, Lógico-matemática, Visual-espacial e Cinestésico-corporal) visto serem aquelas, conforme bibliografias estudadas (GARDNER, 2001; ABRAE, 2004; CAMPBELL, 2000; ANTUNES, 1998, 2001a, 2001b, 2001c, 2002), possíveis de associar a diferentes mídias (texto, desenho, fluxograma e animações, respectivamente) na tecnologia de apoio implementada. Ou seja, para as outras quatro IMs (Interpessoal, Intrapessoal, Musical e Naturalista) não existem definições de forma a associar uma mídia para apresentação de uma informação com o uso do computador.

Faz-se necessário salientar que esta “simplificação” não traz prejuízos posto, por um lado, as IMs serem independentes entre si e, por outro lado, não haver evidências de que os indivíduos possuam um valor de IM que deva ser a totalização de todas as IMs, o que implicaria em perdas, caso algumas não fossem consideradas.

Com essa simplificação da quantidade de IMs a ser utilizada, o teste de Celso Antunes, que inicialmente possuía 150 perguntas, se reduz a 76 perguntas, o que ainda se constitui numa quantidade excessiva para um usuário responder toda vez

que acessar o site<sup>8</sup>. Por conseguinte, fez-se necessário reduzir o número de perguntas.

### 5.1.1 Redução de Dimensionalidade

Normalmente, há duas razões principais para manter, tão pequena quanto possível, a dimensionalidade de um padrão de representação, ou seja, números de características: o custo da medição e a precisão da classificação. A limitação de características excedentes simplifica a representação do padrão e do classificador que é utilizado para selecionar esta representação. Conseqüentemente, o classificador será mais rápido e utilizará menos memória. Por outro lado, a redução do número de características pode conduzir a uma perda da capacidade de discriminação e assim perder a exatidão do resultado (WATANABE; 1985). Há, portanto, uma necessidade de um critério cuidadoso na escolha das características a serem selecionadas.

É importante fazer a distinção entre seleção de característica e extração de característica. O termo seleção de características se refere ao algoritmo que seleciona o melhor subconjunto do conjunto de características de entrada. Métodos que criam novas características, baseados na transformação ou combinação do conjunto de características originais, são chamados de algoritmos de extração de características. Entretanto, os termos seleção de características e extração de características são usados sem distinção na literatura (JAIN *at al.*; 2000).

Nota-se que, freqüentemente, a extração precede a seleção de características. Primeiro, características são extraídas de um “sensor” de dados (em geral, usando componente principal ou análise discriminante) e então algumas das características extraídas, aquelas com baixa habilidade discriminante, são descartadas. A escolha entre seleção de características e extração de características depende do domínio de aplicação e dos dados específicos que estão disponíveis.

Seleção de características, normalmente, conduz a uma redução do custo de medição, desde que algumas características sejam descartadas e, neste caso, a seleção de características deve representar a interpretação original.

Como nesta parte do trabalho o objetivo é a seleção de características, serão

---

<sup>8</sup> Na realidade, o ideal seria que cada usuário só respondesse o teste a primeira vez que tivesse acesso ao *site*, pois ele escolheria um *login*, estabeleceria uma senha, responderia ao questionário, e as informações finais obtidas sobre as suas IMs ficariam armazenadas em um banco de dados, e quando este novamente retornasse ao *site* e se identificasse, seus dados estariam armazenados. Como o objetivo principal deste

mencionados apenas alguns dos possíveis métodos de seleção de características.

### 5.1.2 Seleção de Características

O problema de seleção de características pode ser definido da seguinte forma: dado um conjunto de  $d$  características, selecionar um subconjunto de tamanho  $m$  que conduza ao um menor erro de classificação.

Argumenta-se que a seleção de característica é tipicamente realizada de maneira *off-line*, o tempo de execução de um algoritmo particular não é tão crítico quanto gerar um subconjunto de características otimizado. Esta afirmação é verdadeira para conjunto de características de tamanho moderado. Entretanto muitas aplicações recentes, particularmente em *data mining* e classificação de documentos, envolvem milhares de características. Nestes casos, o requerimento computacional do algoritmo de seleção de características é extremamente importante.

Métodos de seleção de características principais são: aqueles baseados em técnicas de reconhecimento de padrões estatísticos (SPR – *statistical pattern recognition*) e aqueles baseados em redes neurais artificiais (RNA) (JAIN *et al.*; 2000).

O método SPR determina um subconjunto ótimo de características de tamanho  $m$  das  $d$  características avaliáveis ( $d > m$ ), geralmente independe do classificador, baseado em critério estatístico (JAIN *et al.*; 2000).

O método RNA assume que o vetor de características é apresentado como a entrada da rede neural classificadora, e o vetor de características é reduzido pela poda (*pruning*) de alguns nós de entrada baseado em alguns critérios durante/depois do treinamento da rede.

Esse método de poda de nós foi desenvolvido para solucionar o problema de generalização da rede, minimizando nós escondidos ou pesos e não para solucionar problemas de seleção de características. A seleção de características utilizando a poda de nós foi apresentada em um trabalho de Chung, para reconhecimento de padrões (CHUNG & YOON; 1997). Um trabalho de Mao também cita a capacidade da poda de nós atuar como um método de seleção de características (MAO *et al.*; 1994).

Uma vantagem do procedimento de poda de nós sobre o método de seleção de característica clássico é que aquele pode, simultaneamente, otimizar o conjunto de

---

trabalho porém, não é a implementação na sua forma final, o teste é apresentado toda vez que um usuário acessa ao site.

características e o classificador, enquanto que métodos clássicos de seleção selecionam o melhor subconjunto de características que serão, posteriormente, utilizados em um classificador escolhido. Ou seja, utilizando uma RNA com poda de nós é possível fazer a seleção das características e obter a classificação necessária, ao mesmo tempo.

A seguir são apresentadas algumas características da poda de nós desenvolvidas para uma rede neural artificial.

### **5.1.3 Podas de Nós (*Node Pruning*)**

Na implementação de redes neurais do tipo MLP (*Multilayer Perceptron*), um dos grandes problemas é a definição do número de neurônios da(s) camada(s) intermediária(s). Apesar das muitas heurísticas existentes este se constitui ainda hoje em um problema aberto.

Escolher uma quantidade muito pequena de neurônios pode resultar em não resolver o problema com suficiente exatidão (implicando na possibilidade da rede não “aprender”). Uma quantidade muito grande de neurônios porém, tem a desvantagem de que a generalização desejada da rede neural pode ser perdida e a rede apresentar a tendência de “decorar” e não aprender com os exemplos de treinamento.

Levando ao extremo, uma quantidade muito grande de neurônios disponíveis na camada intermediária da rede possibilita que cada padrão de treinamento seja representado separadamente por um conjunto particular de pesos da rede neural. De fato, neste caso, a rede é capaz de reproduzir exatamente o modelo de treinamento, mas produz um erro considerável quando apresentados outros dados que sejam, até mesmo, apenas ligeiramente diferente dos dados de treinamento original. Muitos neurônios na camada intermediária reduzem a aplicabilidade geral da rede.

Como uma diretriz na escolha do tamanho da rede, pode-se dizer que uma rede muito grande (significando um número de neurônios muito grande na(s) camada(s) intermediária(s)) se especializa somente nos dados de treinamento, enquanto uma rede menor produz melhor generalização.

O tamanho da rede é, em geral, escolhido heurísticamente, um exemplo seria que o número total de neurônios na rede é identificado pelo número de pesos sinápticos, que são obtidos em função dos números de exemplos utilizados no treinamento. E ainda, nesta heurística, o número de exemplos que a rede deve possuir é duas a quatro vezes maior que a quantidade de pesos da rede neural. Tal aproximação pode ser considerada como sendo satisfatória em alguns casos, mas não

pode ser pensada como uma regra universal (KURI; 2003).

Um outro método para determinação de um ótimo tamanho de rede é usar um método de estrutura adaptativa. Neste método, a topologia da rede neural pode ser modificada durante o processo de aprendizado usando duas estratégias básicas (HAYKIN; 2001):

1. Pelo *crescimento da rede*, começando com uma rede MLP pequena para realizar a tarefa em questão e, então, ir adicionando um novo neurônio ou uma nova camada de neurônios ocultos somente quando for incapaz de satisfazer as especificações de projeto.
2. Pela *poda da rede*, começando com uma rede MLP grande, com um desempenho inadequado para o problema em questão e, então, vai se fazendo a poda (*pruning*) pela redução ou eliminação de certos pesos sinápticos de uma forma seletiva e ordenada.

As diferenças entre estas duas aproximações podem ser encontradas em publicações científicas para aplicações diversas. Para facilitar o uso deste processo, diferentes algoritmos de poda foram desenvolvidos, assim como, arquiteturas adaptativas para MLPs.

Os procedimentos de poda são baseados na seguinte idéia: começando com uma grande rede, com todas as conexões entre as camadas individuais disponíveis (uma MLP completamente conectada), as conexões que não têm importância são removidas “deletando” seus pesos sinápticos correspondentes (poda de peso) (REED; 1993).

Os pesos que não são considerados importantes, são aqueles que somam “menos” na soma total dos pesos dos neurônios. Estes pesos que contribuem pouco com a soma global são aqueles que têm valores muito próximos de zero, ou são aqueles pesos que são ativos mas cujos valores são multiplicados por zero.

O valor característico da denominada relevância do peso  $r_{ij}(t)$  corresponde a uma filtragem passa-baixa da contribuição atual de cada peso respectivo:

$$r_{ij}(t) = \frac{\tau_p \cdot r_{ij}(t-1) + s_{ij}}{\tau_p + 1} \quad (5.1)$$

onde  $\tau_p$  = constante de tempo do filtro passa baixa e  $s_{ij}$  = contribuição do peso  $w_{ij}$  para o sinal de saída do neurônio. Um cálculo do valor do  $s_{ij}$  depende da estratégia de

aprendizado adotado. Para uma estratégia de aprendizado acumulativo seu valor é dado por:

$$s_{ij} = |w_{ij}| \quad (5.2)$$

enquanto para a estratégia de atualização seqüencial dos pesos (a cada passo) seu valor é dado por:

$$s_{ij} = \begin{cases} |w_{ij} \cdot o_{pi}| & \text{if } \text{sgn}(\delta_i(t-1)) = \text{sgn}(\delta_i(t)) \\ 0 & \text{if } \text{sgn}(\delta_i(t-1)) \neq \text{sgn}(\delta_i(t)) \end{cases} \quad (5.3)$$

Se, a relevância do peso cai abaixo de determinado valor (o *pruning threshold*), então, o peso é removido da rede neural. O controle do processo de poda é obtido pelo ajuste do valor do limiar de poda (*pruning threshold*) e da constante de tempo  $\tau_p$  do filtro passa-baixa no cálculo da relevância. (KURI; 2003).

Geralmente, o valor do *pruning threshold* deve ser ajustado depois de cuidadosas considerações, pois um *threshold* muito alto pode conduzir a remoção de conexões relevantes. Desta forma, a rede poderá ser reduzida intensamente e não apresentará resultados satisfatórios. No caso extremo, isto pode significar a remoção de todos os pesos da rede, junto com qualquer funcionalidade determinada para ela.

Quando um valor muito pequeno de *threshold* (cerca de 0,0001) é escolhido, quase toda a poda (*pruning*) é eliminada. Os altos valores de *threshold*, na ordem de 0,4 tipicamente, conduzem a mudanças drásticas na arquitetura da rede.

A constante de tempo  $\tau_p$ , para o filtro passa-baixa, deveria ser selecionada de tal forma que mais de uma época atue. Valores típicos variam, por exemplo, entre dez (10) e cinquenta (50) vezes o comprimento da época, porém, isto pode diferir dependendo do caso individual (REED; 1993). Automaticamente, multiplica-se a constante de tempo usada pelo número de épocas especificado, independentemente da estratégia de aprendizagem e, no caso de aprendizagem a cada passo, pela duração da época.

Uma constante de tempo alta não é, em geral, um problema pois, caso a relevância seja branda para ocorrer uma mudança, poucas conexões são removidas. Em geral, é recomendado começar podando com uma constante de tempo grande e um pequeno valor de *pruning threshold* (KURI; 2003).

#### **5.1.4 Seleção de Perguntas e Classificação Utilizando uma Rede Neural Artificial.**

Como já mencionado, o objetivo inicial da utilização da poda de nós foi resolver o problema de obtenção de melhor topologia da rede MLP. Surgiram, posteriormente, algumas pesquisas para utilizá-lo em classificação, principalmente, para reconhecimento de padrões, pois realiza todas as etapas necessárias de extração, seleção e classificação de características, simultaneamente (JAIN et al.; 2000).

Observando-se, no entanto, as propriedades intrínsecas do método de podas de nós, surgiu a idéia de sua utilização em problemas de redução de dimensionalidade de questionário. No caso específico deste trabalho, utiliza-se o referido método para, dentre as 76 perguntas do teste de múltipla escolha, selecionar aquelas mais significativas de forma a diminuir o número de questões, identificando e obtendo simultaneamente as notas das Inteligências Múltiplas utilizadas. Ou seja, permite assim, que o sistema identifique o perfil do usuário com um mínimo possível de questionamento.

Conseqüentemente, sugere-se explicitamente que o método de podas de nós pode ser utilizado como uma alternativa a método estatísticos em problemas de redução de dimensionalidade de questionário. É importante observar que nenhum trabalho neste sentido foi encontrado na literatura. Ou seja, a proposta da utilização de uma RNA do tipo *Perceptron* Multicamadas (MLP), quando treinada utilizando-se o algoritmo de poda dos nós, possibilita a seleção de característica e classificação, simultaneamente, sendo, portanto, bastante interessante para esta aplicação.

Observa-se que Saldias (2002) em sua tese trabalhou, dentre outras teorias cognitivas, com as Inteligências Múltiplas e fez a seleção de características (seleção de perguntas do questionário de Celso Antunes (2001c)) através de um método estatístico de análise discriminante. Como o número de perguntas foi reduzido, não foi possível utilizar as técnicas oferecidas pelo autor do questionário para obtenção do valor das notas das respectivas inteligências múltiplas procuradas. Como conseqüência, foi necessário o desenvolvimento de um Sistema Especialista (SE), de forma qualitativa, para analisar as respostas dos questionários reduzidos e determinar os resultados (valores das notas).

Os resultados de seleção obtidos (a seleção das perguntas) não puderam ser utilizados no presente trabalho, pois algumas das Inteligências Múltiplas utilizadas

por Saldias (Lógico-matemática, Musical, Cinestésico-corporal, Interpessoal e Ecológica) são diferentes das IMs utilizadas neste (Linguística-verbal, Lógico-matemática, Visual-espacial e Cinestésico-corporal).

Caso se utilizasse neste trabalho a mesma metodologia implementada por Saldias, novas regras do SE para as perguntas das novas IMs utilizadas deveriam ser desenvolvidas. A abordagem aqui proposta apresenta a vantagem de não necessitar do SE posto que possibilita simultaneamente a seleção e classificação da característica, constituindo-se em uma outra contribuição deste trabalho.

Com esta metodologia, a própria rede faz a seleção das perguntas mais relevantes e fornece a nota da inteligência múltipla considerada, com valores variando de 1 a 4 com incremento de 0,1, conforme método proposto por Celso Antunes (2001c). As perguntas desenvolvidas pelo autor podem ser encontradas no Cap.5 (RP/D-IEB-01/2004). A Figura 5.3, apresenta todo o processo realizado para a obtenção dos dados necessários.

Da mesma forma que com procedimentos estatísticos a abordagem aqui utilizada (uma MLP com podas de nós) necessita de dados, que constituirão o conjunto de treinamento, para implementar a redução de dimensionalidade do teste de múltipla escolha na determinação das IMs dos usuários. Por conseguinte, foi necessário submeter o presente projeto a um Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos, no caso o da UFSC<sup>9</sup>. Para obter estes dados foi utilizado o teste de múltipla escolha de Celso Antunes relativo as quatro IMs consideradas. A seguir este teste foi aplicado a um conjunto de voluntários escolhidos considerando-se particularmente o tamanho e a heterogeneidade da amostra, de forma a garantir sua representatividade.

Com relação ao tamanho da amostra este corresponde ao número de padrões constituintes do conjunto de treinamento da rede. Com relação à heterogeneidade, o teste foi preenchido pelos alunos de pós-graduação em Engenharia Elétrica, em Ciências Médicas e Educação Física; alunos de graduação em Computação e Pedagogia; alunos de curso técnico (eletrônica), alunos de cursinho pré-vestibular e profissionais de engenharia, biologia, música e fisioterapia, veterinária, entre outros.

---

<sup>9</sup> Projeto de pesquisa: Redução de dimensionalidade de questionário aplicado na mensuração de Inteligências Múltiplas, número 164/03, aprovado em 29/09/03.

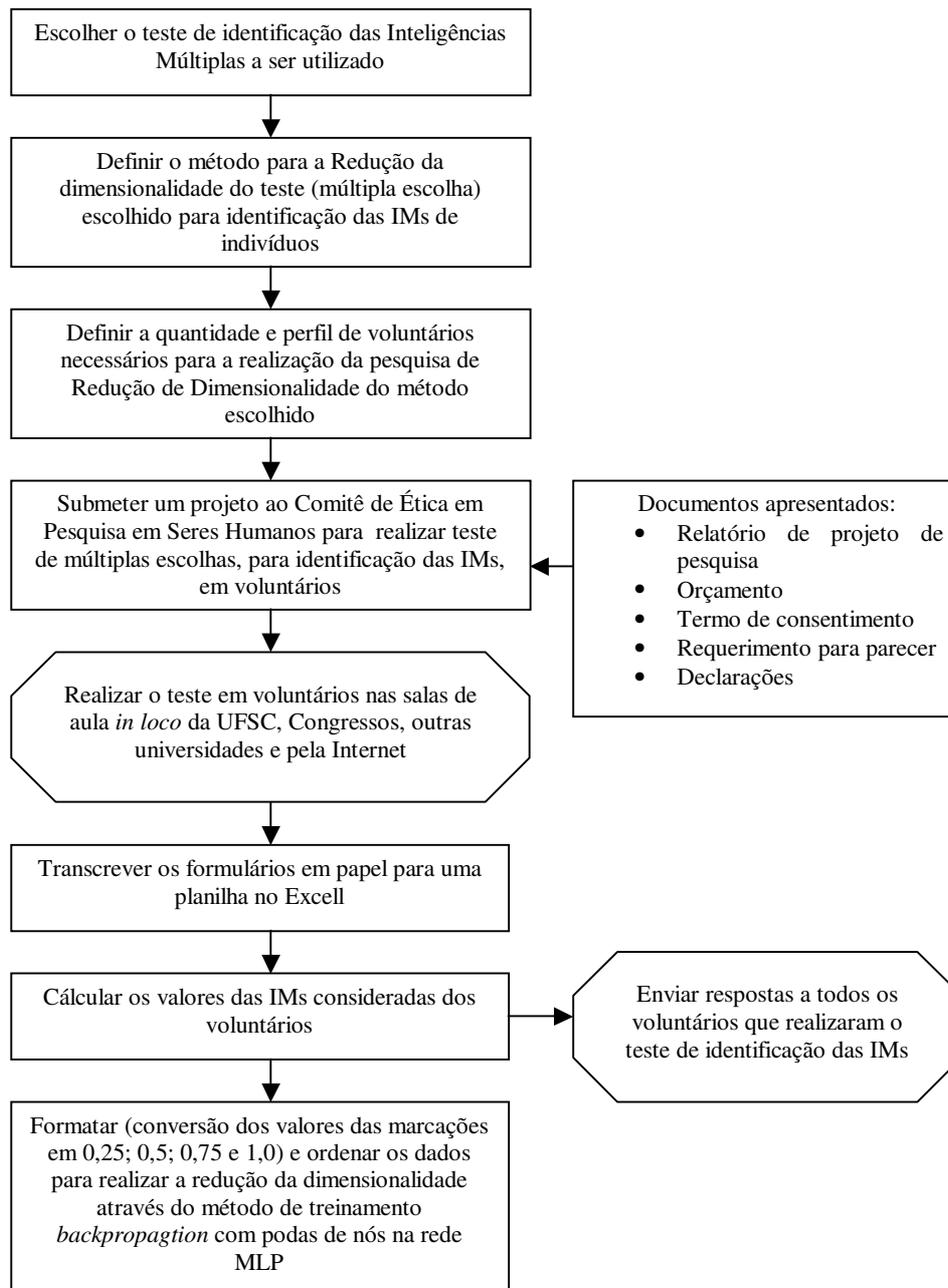


Figura 5.3 Processo para obtenção dos dados para redução da quantidade de perguntas do teste de Inteligências Múltiplas considerado.

Foram construídas quatro redes MLP independentes, uma rede para cada IM considerada neste trabalho. Os parâmetros selecionados para a citada rede serão descritos a seguir e, quando necessário, é apresentada uma breve justificativa:

- Número de camadas: 3 (totalmente conectadas na topologia original). Observa-se que quando a função consiste de um número finito de pontos ou, quando é utilizada uma função contínua, uma rede de três camadas é capaz de aprender

esta função (BRAGA et al., 2000; KURI, 2003). Além disso, nas redes MLPs com uma única camada intermediária (3 camadas no total), os neurônios desta tendem a interagir entre si (HAYDIN; 2001).

- Número de neurônios da camada de entrada: depende da Inteligência Múltipla considerada. Ou seja, o número de neurônios na entrada, normalmente, corresponde ao número de variáveis de entrada do processo a ser modelado. Neste trabalho cada neurônio da camada de entrada se refere a uma resposta de uma pergunta do teste de múltipla escolha e como há variação do número de perguntas para cada teste, o número dos neurônios também varia. Para a IM Lingüístico-verbal sendo 20 perguntas tem-se: 20 neurônios na camada de entrada; para a IM Lógico-matemática sendo 18 perguntas tem-se 18 neurônios na camada de entrada; para a IM Visual-espacial sendo 20 perguntas tem-se 20 neurônios na camada de entrada; para a IM Cinestésico-corporal sendo 18 perguntas tem-se 18 neurônios na camada de entrada.
- O teste é de múltipla escolha com apenas uma possível resposta para cada pergunta. As respostas possíveis são: **S** – sim com muita ênfase, **s** – sim com pouca ênfase, **n** – não com pouca ênfase e **N** – não com muita ênfase. Todavia como cada pergunta corresponde a um único neurônio na entrada da rede, cada resposta foi convertida para um valor numérico de: 1 para a resposta **S**; 0,75 para a resposta **s**; 0,5 para a resposta **n** e 0,25 para a resposta **N**.
- Número de neurônios na camada de saída: 1, para cada uma das quatro redes. A saída é numérica com valores variando entre 1 e 4 (com possibilidade de incremento de 0,1).
- Número de padrões necessário no conjunto de treinamento: é muito difícil de ser estabelecido o número de amostras de treinamento nas redes MLP, porém, algumas diretrizes têm sido sugeridas. Normalmente este valor vai depender do número de características do problema (número de neurônios da camada de entrada) e do número de classes (número de neurônios na camada de saída). Conforme Jain (JAIN et al.; 2000) o limite mínimo do número de exemplos no treinamento seria de: dez (10) vezes o número de características vezes o número de classes. Para Silva (1993) seria de cinco (5) vezes número de características vezes número de classes. Portanto, para as Inteligências Lingüístico-verbal e Visual-espacial, que possuem 20 características (20

neurônios na entrada) e uma classe (1 neurônio na saída), seriam necessários de 100 a 200 exemplos de treinamento. Para as Inteligências Lógico-matemática e Cinestésico-corporal são 18 características (18 neurônios na entrada) e uma classe (1 neurônio na saída), sendo necessários de 90 a 180 exemplos de treinamento.

- Número de neurônios na camada intermediária: existem inúmeras heurísticas para a definição desta quantidade e muitas pesquisas são desenvolvidas para solucionar tal problema. Neste trabalho o número de neurônios na camada intermediária depende do número de exemplos utilizados no treinamento. Na definição do número total de pesos (entendendo-se por “peso” a fortaleza da ligação sináptica entre dois neurônios), para os casos que envolvem algumas centenas de exemplos de treinamento, utiliza-se a Equação 5.4 (a). Observa-se que esta é uma situação limite que deve ser evitada (KURI, 2003). Porém nos casos com milhares de exemplos utiliza-se a Equação 5.4 (b) que proporciona um erro de aproximadamente 10% na generalização (HAYKIN; 2001).

$$\left\{ \begin{array}{l} NTP = \frac{\text{núm. de exemplos de trein.}}{2}, \text{ para poucos exemplos} \quad (a) \\ NTP = \frac{\text{núm. de exemplos de trein.}}{10}, \text{ para vários exemplos} \quad (b) \end{array} \right. \quad (5.4)$$

- Neste trabalho foram utilizados 215 exemplos, pois 215 voluntários preencheram o teste. Considerando que 70% destes, escolhidos aleatoriamente, foram utilizados para treinamento (150 indivíduos), 15% para teste (33 indivíduos) e 15% para verificação (32 indivíduos), e utilizando-se a Equação 5.4 (a), determinou-se que a rede deveria ter um NTP de, aproximadamente, 75 pesos. As redes utilizadas, neste trabalho, para as IMs Lógico-matemática e Cinestésico-corporal foram definidas tendo 76 pesos e 4 neurônios na camada intermediária e para as IMs Lingüístico-verbal e Visual-espacial tendo 84 pesos e 4 neurônios na camada intermediária.
- Função de ativação: logística (sigmoideal) na camada escondida e linear (limitada a 1 e a 4) na camada de saída, nas quatro redes consideradas.
- Neurônios de *bias*: todos iguais a 1.
- Algoritmo de treinamento: retropropagação com momento.
- Ordem de apresentação dos exemplos: aleatória.

- Modo de treinamento: seqüencial. Neste modo de treinamento os padrões de treinamento são apresentados à rede de uma forma aleatória e o uso de ajuste de pesos de padrão em padrão torna a busca no espaço de pesos de natureza estocástica. Por sua vez, isto torna menos provável que o algoritmo de retropropagação fique preso em um mínimo local. Do ponto de vista operacional "on-line", o modo seqüencial de treinamento é preferível em relação ao modo por lote, porque requer menos armazenamento local para cada conexão sináptica (HAYKIN; 2001).
- Taxa de aprendizagem ( $\eta$ ): o valor é estabelecido conforme o número de neurônios na camada precedente, segundo heurística apresentada por Kuri (2003), na Equação 5.5. Para as redes das IMs Lógico-matemática e Cinestésico-corporal o  $\eta$  na camada oculta tem valor igual 0,011 e na camada de saída tem valor igual a 0,05. Para as redes das IMs Lingüística-verbal e Visual-espacial o  $\eta$  na camada oculta tem valor igual 0,01 e na camada de saída tem valor igual a 0,05.

$$0 < \eta < \left( \frac{0,2}{\text{núm. neurônios camada precedente}} \right) \quad (5.5)$$

- Constante de momento: 0,9; utilizada em todas as redes.
- Inicialização dos pesos: aleatória entre -0,1 e 0,1.
- Parada de treinamento: 30000 épocas, quando não há alteração significativa no valor do erro no treinamento (pode-se considerar estável), para todas as redes.

### 5.1.5 Resultados Obtidos no Módulo do Usuário

Estas redes MLPs foram, inicialmente, treinadas com algoritmo de *backpropagation* com momento, sem a poda de nós e, em seguida, com algoritmo de treinamento utilizando poda de nós, para verificar se os parâmetros estabelecidos forneciam bons resultados.

A arquitetura de uma das redes MLPs, com representação de todos os neurônios e conexões pode ser observada na Figura 5.4.

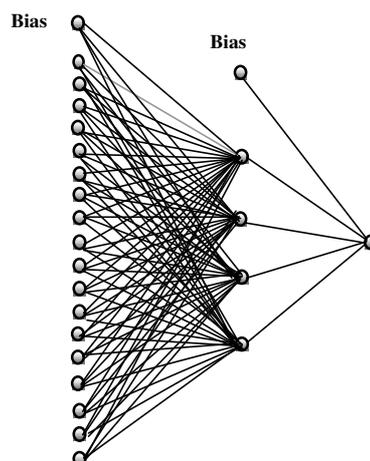


Figura 5.4 Arquitetura de uma das redes MLPs (IM Lógico-matemática com 18 neurônios na camada de entrada, quatro na camada intermediária e um na saída).

As redes neurais, como era de se esperar, forneceram ótimos resultados quando estavam completas, ou seja, com as redes sem podas de nós nas quais nenhum neurônio é eliminado. Entretanto, este problema é um problema linear simples e não seria necessário desenvolver uma rede neural somente para fazer a classificação das notas, pois já foi estabelecido, pelo autor do teste, um método mais simples. Mas, esta implementação foi útil para confirmar que os parâmetros estabelecidos e descritos anteriormente eram satisfatórios.

Os erros obtidos nesta rede foram praticamente zero e a curva de erro eficaz para a IM Lingüístico-verbal está apresentada na Figura 5.5. Observa-se que este comportamento foi semelhante em todas as outras três redes, das outras IMs consideradas, e não serão apresentadas.

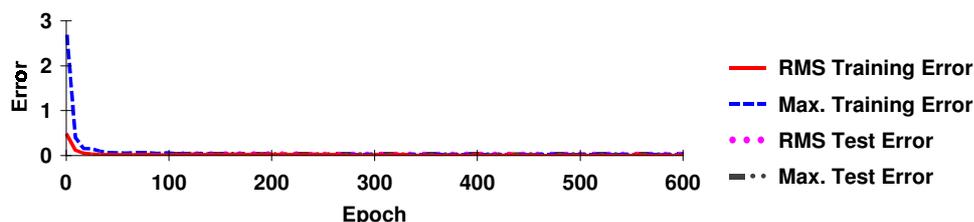


Figura 5.5 Curva de treinamento para a rede MLP com algoritmo de treinamento *backpropagation*, sem podas de nós, para a Inteligência Múltipla Lingüístico-verbal.

A Tabela 5.1 abaixo apresenta, para 15 padrões do conjunto de teste, os resultados das notas obtidas através do método de Celso Antunes (Valor real) e as obtidas pela rede MLP após treinamento, também apresenta o valor da diferença

(erro) entre os dois resultados.

Tabela 5.1 Resultado da Rede MLP para a com algoritmo de treinamento *backpropagation*, sem podas de nós, para a Inteligência Múltipla Lingüística-verbal.

	Valor Real	Rede Neural	Erro
Ind 1	2,650	2,650	0,000
Ind 2	3,700	3,700	0,000
Ind 3	2,600	2,601	0,001
Ind 4	2,550	2,551	0,001
Ind 5	2,550	2,549	0,001
Ind 6	2,650	2,650	0,000
Ind 7	3,100	3,101	0,001
Ind 8	3,100	3,101	0,001
Ind 9	2,050	2,053	0,003
Ind 10	2,300	2,300	0,000
Ind 11	3,600	3,600	0,000
Ind 12	2,850	2,852	0,002
Ind 13	2,700	2,701	0,001
Ind 14	2,950	2,951	0,001
Ind 15	2,450	2,450	0,000

Após confirmação, satisfatória, dos parâmetros das redes, foram implementadas mais quatro redes neurais, uma para cada IM considerada, com o algoritmo de treinamento *backpropagation* com momento e com podas de nós.

Para cada uma destas redes foram variados os valores de *relevance threshold* e *time constant*, parâmetros estes definidos na seção 5.1.3.

Na Tabela 5.2, a seguir, são apresentados os resultados dos testes para a IM Lingüístico-verbal, com a variação dos parâmetros. A coluna 1 apresenta o número do teste realizado, a coluna 2 apresenta o número total de épocas, as colunas 3 e 4 apresentam os valores dos parâmetros *time constante* e *relevance threshold* estabelecidos, as colunas 5 e 6 apresentam, para o conjunto de treinamento, os valores de erro máximo e de erro médio, as colunas 7 e 8 apresentam, para o conjunto de teste, os valores de erro máximo e de erro médio. A coluna 9 apresenta as questões resultantes e a coluna 10 a quantidade total de perguntas resultantes. Os valores dos erros apresentados na tabela são valores absolutos.

Tabela 5.2 Resultado dos testes da rede MLP para a IM Linguístico-verbal.

Testes	Época	Time cte	Relevance	Max	RMS	Max	RMS	Perguntas resultantes	quant.
			Threshold	erro treinam.	erro treinam.	erro teste	erro teste		total de perguntas
TESTE1	30000	10	0,2	0,5	0,15	0,56	0,17	2, 3, 5, 11, 12, 13, 17, 19	8
TESTE2	30000	20	0,2	0,37	0,13	0,31	0,11	1, 2, 3, 5, 11, 12, 13, 17, 19	9
TESTE3	30000	30	0,2	0,37	0,13	0,31	0,11	1, 2, 3, 5, 7, 11, 12, 13, 17, 19	10
TESTE4	30000	5	0,2	0,62	0,16	0,49	0,2	4, 12, 13, 17, 19, 20	6
TESTE5	30000	15	0,2	0,37	0,13	0,31	0,11	1, 2, 3, 5, 7, 11, 12, 13, 17, 19	10
TESTE6	30000	40	0,2	0,36	0,12	0,33	0,11	1, 2, 3, 5, 7, 11, 12, 13, 17, 19, 20	11
TESTE7	30000	10	0,1	0,22	0,04	0,25	0,06	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20	18
TESTE8	30000	8	0,2	0,53	0,15	0,55	0,18	3, 11, 12, 13, 17, 19, 20	7

Observa-se que, quanto menor a quantidade de perguntas resultantes, maior é o erro apresentado no resultado final. Como a precisão no resultado não precisa ser elevada, pois há um *feedback* por parte usuário que atua no sistema, modificando as condições pré-estabelecidas conforme sua vontade, optou-se, por reduzir ao máximo possível o número de questões. Nesta IM, portanto, serão utilizadas 6 perguntas (teste 4), sendo estas: perguntas 4, 12, 13, 17, 19 e 20, apresentadas no Cap.5 (RP/D-IEB-01/2004).

A Tabela 5.3 apresenta o resultado da rede MLP para 15 indivíduos do conjunto de teste, para a IM considerada, e com a 6 perguntas descritas, anteriormente. O Cap.6 (RP/D-IEB-01/2004) mostra os resultados dos vários testes, com uma maior quantidade de indivíduos, para a IM Linguístico-verbal.

A curva de erro de treinamento para a rede escolhida (teste 4) é apresentada na Figura 5.6.

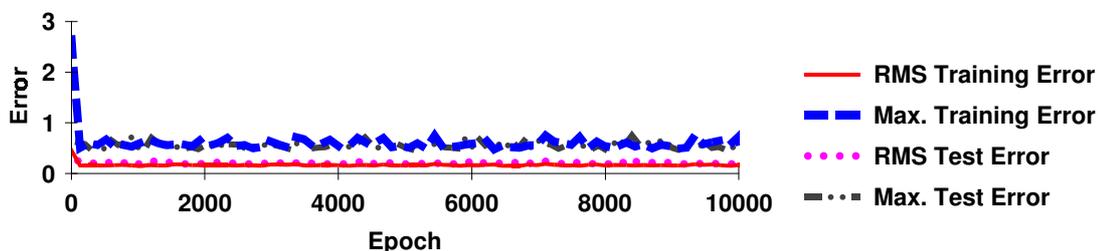


Figura 5.6 Curva de erro, para a rede MLP, usando podas de nós no treinamento para a IM Linguístico-verbal.

Tabela 5.3 Obtenção do erro, para a IM Lingüístico-verbal, entre as notas dos indivíduos e notas fornecidas pela Rede MLP com treinamento *backpropagation* com momento e podas de nós. Estes resultados são para indivíduos não utilizados no treinamento.

Indivíduos	Notas	Rede MLP	
		Teste 4	Erro T.4
Ind 205	2,0	2,1	0,1
Ind 206	2,9	3,1	0,2
Ind 207	3,4	3,3	0,1
Ind 208	3,3	3,0	0,3
Ind 209	3,7	3,5	0,2
Ind 210	2,4	2,8	0,4
Ind 211	3,2	2,6	0,6
Ind 212	3,2	2,9	0,2
Ind 213	3,0	2,9	0,1
Ind 214	3,1	2,8	0,3
Ind 215	3,1	2,8	0,3
Ind 216	2,9	2,6	0,3
Ind 217	2,4	2,6	0,2
Ind 219	2,8	2,6	0,2
Ind 220	2,6	2,7	0,2

O valor dos pesos resultantes, para o teste 4 (teste escolhido, no qual são estabelecidas 6 perguntas), é apresentado na Tabela 5.4, seguinte.

Tabela 5.4 Valor dos pesos resultantes, após o treinamento da rede MLP com podas de nós, para a IM Lingüístico-verbal.

De um neurônio	Para outro neurônio	Valor dos pesos
Bias	Oculto_01	-2,8733
Bias	Saída_01	2,3343
Entrada_04	Oculto_04	-1,2470
Entrada_12	Oculto_01	1,5281
Entrada_13	Oculto_01	0,8366
Entrada_17	Oculto_01	1,0921
Entrada_19	Oculto_04	-1,7801
Entrada_20	Oculto_01	0,6655
Oculto_01	Saída_01	1,8829
Oculto_04	Saída_01	-2,7710

Nesta tabela a nomenclatura “Entrada” refere-se aos neurônios da camada de entrada, “Oculto” aos neurônios da camada escondida e “Saída” aqueles da camada de saída. Os números, na nomenclatura, referem-se ao neurônio em questão, por exemplo “Oculto\_01” refere-se ao primeiro neurônio da camada oculta.

A arquitetura da rede MLP resultante, após poda de nós, para a IM Lingüístico-verbal é apresentada na Figura 5.7.

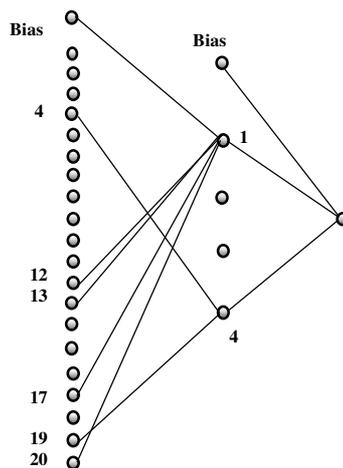


Figura 5.7 Arquitetura resultante da rede MLP, após poda dos nós, para a IM Lingüística-verbal.

Os testes realizados para a Inteligência Lógico-matemática são apresentados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 Resultado dos testes do rede MLP para a IM Lógico-matemática.

Testes	Época	Time cte	Relevance	Max	RMS	Max	RMS	Perguntas resultantes	quant.
			Threshold	erro treinam.	erro treinam.	erro teste	erro teste		total de perguntas
TESTE1	30000	10	0,2	0,42	0,09	0,36	0,14	1, 3, 4, 6, 8, 11, 12, 14, 15, 16	10
TESTE2	30000	20	0,2	0,27	0,08	0,47	0,13	1, 3, 4, 6, 8, 11, 12, 14, 15, 16, 17	11
TESTE3	30000	30	0,2	0,41	0,08	0,34	0,13	1, 2, 4, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 16	11
TESTE4	30000	5	0,2	0,45	0,1	0,37	0,12	1, 3, 4, 6, 8, 9, 11, 14, 16	9
TESTE5	30000	3	0,2	0,37	0,1	0,41	0,14	1, 2, 4, 5, 8, 9, 14, 16, 18	9
TESTE6	30000	2	0,2	0,35	0,1	0,39	0,14	1, 2, 4, 5, 8, 9, 14, 16, 18	9
TESTE7	30000	1	0,2	1,65	0,42	1,39	0,54	nenhum	nenhum

Para esta IM o questionário de 18 perguntas foi reduzido para 9. O teste 6 foi o que apresentou melhores resultados, com erros menores, entre os demais testes que também reduziram para 9 perguntas (teste 4 e teste 5). As perguntas resultantes são: 1, 2, 4, 5, 8, 9, 14, 16 e 18 teste apresentado no Cap.5 (RP/D-IEB-01/2004).

A seguir, será apresentado na Tabela 5.6, o resultado da rede MLP para 15 indivíduos não utilizados no treinamento. No Cap.6 (RP/D-IEB-01/2004) são demonstrados os resultados dos vários testes, com uma maior quantidade de indivíduos, para a IM Lógico-matemática.

Tabela 5.6 Obtenção do erro, da IM Lógico-matemático, entre as notas dos indivíduos e notas fornecidas pela Rede MLP com treinamento *backpropagation* com momento e podas de nós. Estes resultados são para indivíduos não utilizados no treinamento.

Indivíduos	Notas	Rede MLP	
		Teste 6	Erro T.6
Ind 205	1,9	1,8	0,2
Ind 206	2,2	2,5	0,3
Ind 207	3,4	3,2	0,2
Ind 208	2,2	2,2	0,0
Ind 209	2,6	2,5	0,1
Ind 210	2,1	2,5	0,5
Ind 211	2,6	2,7	0,1
Ind 212	3,6	3,5	0,1
Ind 213	3,4	3,2	0,1
Ind 214	2,8	2,9	0,1
Ind 215	3,2	3,2	0,0
Ind 216	3,3	3,6	0,3
Ind 217	2,8	2,9	0,0
Ind 219	2,7	2,8	0,1
Ind 220	2,6	2,8	0,3

A curva de erro de treinamento para a rede escolhida (teste 6), para a IM Lógico-matemática, é apresentada na Figura 5.8.

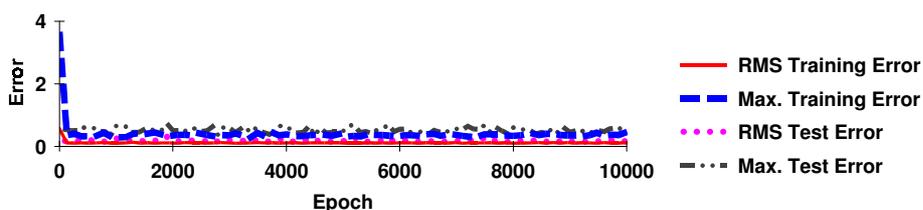


Figura 5.8 Curva de erro para a rede MLP usando a podas de nós no treinamento para a IM Lógico-matemática.

O valor dos pesos resultantes, para o teste 6, é apresentado na Tabela 5.7 seguinte, para a IM Lógico-matemática.

Tabela 5.7 Valor dos pesos resultantes, após o treinamento da rede MLP com podas de nós, para a IM Lógico-matemática.

De um neurônio	Para outro neurônio	Valor dos pesos
Bias	Saída_01	5,9987
Entrada_01	Oculto_03	-0,8793
Entrada_02	Oculto_03	-0,6468
Entrada_04	Oculto_01	-0,4500
Entrada_05	Oculto_02	-0,5573
Entrada_08	Oculto_02	-0,7697
Entrada_09	Oculto_01	-0,6274
Entrada_14	Oculto_01	-0,4245
Entrada_16	Oculto_04	-0,6954
Entrada_18	Oculto_04	-0,6826
Oculto_01	Saída_01	-3,6073
Oculto_02	Saída_01	-3,0734
Oculto_03	Saída_01	-2,2564
Oculto_04	Saída_01	-2,7670

A arquitetura da rede MLP, após poda de nós, para a IM Lógico-matemática é apresentada na Figura 5.9.

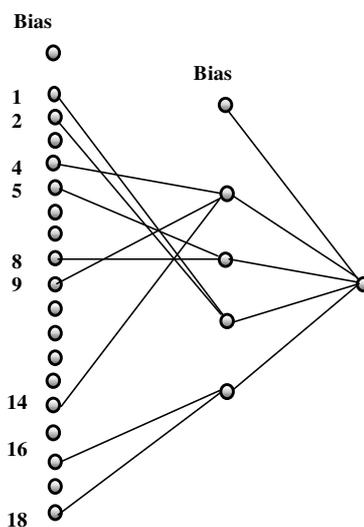


Figura 5.9 Arquitetura resultante da rede MLP, após poda de nós, para a IM Lógico-matemática.

Os testes realizados para a Inteligência Visual-espacial são apresentados na Tabela 5.8.

Para esta IM, o questionário de 20 perguntas, foi reduzido para 8 perguntas. O teste 7 e o teste 5 foram os que apresentaram a menor quantidade de perguntas, porém os erros do teste 7 foram menores. As perguntas resultantes são: 4, 6, 8, 10, 11, 15, 16 e 19 do teste, para IM Visual-espacial, apresentado no Cap.5 (RP/D-IEB-01/2004).

Tabela 5.8 Resultado dos testes do rede MLP para a IM Visual-espacial.

Testes	Época	Time	Relevance	Max	RMS	Max	RMS	Perguntas	quant.
									cte
				treinam.	treinam.	teste	teste		perguntas
TESTE1	30000	10	0,2	0,3	0,08	0,36	0,1	2, 3, 4, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 19, 20	13
TESTE2	30000	20	0,2	0,24	0,07	0,21	0,07	1, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20	14
TESTE3	30000	30	0,2	0,24	0,07	0,21	0,07	1, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20	14
TESTE4	30000	5	0,2	0,35	0,09	0,32	0,1	2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 19	12
TESTE5	30000	2	0,2	0,55	0,15	0,45	0,17	6, 8, 9, 10, 11, 15, 16, 19	8
TESTE6	30000	10	0,1	0	0	0	0	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13...20	20
TESTE7	10000	3	0,2	0,48	0,13	0,4	0,15	4, 6, 8, 10, 11, 15, 16, 19	8
TESTE8	30000	4	0,2	0,39	0,1	0,34	0,1	2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 19	12

A seguir, será apresentado na Tabela 5.9, o resultado da rede MLP para 15 indivíduos não utilizados no treinamento. No Cap.6 (RP/D-IEB-01/2004) são

demonstrados os resultados dos vários testes, com maior quantidade de indivíduos, para a IM Visual-espacial.

Tabela 5.9 Obtenção do erro, da IM Visual-espacial, entre as notas dos indivíduos e notas fornecidas pela Rede MLP com treinamento *backpropagation* com momento e podas de nós. Estes resultados são para indivíduos não utilizados no treinamento.

Indivíduos	Notas	Rede MLP	
		Teste 7	Erro T. 7
Ind 205	2,4	2,6	0,3
Ind 206	2,1	2,1	0,0
Ind 207	3,4	3,1	0,3
Ind 208	2,8	2,8	0,1
Ind 209	3,3	3,0	0,2
Ind 210	2,2	2,1	0,0
Ind 211	3,3	3,0	0,3
Ind 212	3,0	3,0	0,0
Ind 213	2,7	2,7	0,1
Ind 214	3,3	3,1	0,2
Ind 215	3,1	2,7	0,3
Ind 216	2,8	2,5	0,3
Ind 217	2,7	2,8	0,1
Ind 219	2,3	2,2	0,1
Ind 220	2,8	2,8	0,0

A curva de erro de treinamento para a rede escolhida (teste 5), para a IM Visual-espacial, é apresentada na Figura 5.10.

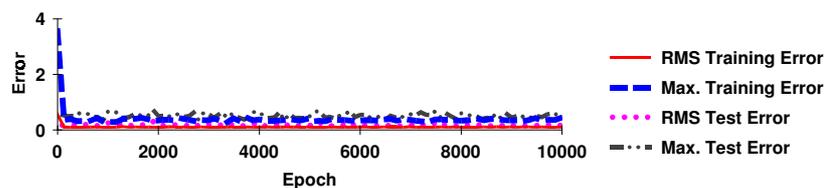


Figura 5.10 Curva de erro para a rede MLP usando o nó de *pruning* no treinamento para a IM Visual-espacial.

Os valores dos pesos, resultantes, após o treinamento com as podas dos nós, obtidos no teste 7 são apresentados Tabela 5.10.

Tabela 5.10 Valor dos pesos resultantes, após o treinamento da rede MLP com podas de nós, para a IM Visual-espacial.

De um neurônio	Para outro neurônio	Valor dos pesos
Bias	Saída_01	4,8826
Entrada_04	Oculto_01	-0,8582
Entrada_06	Oculto_03	-0,8533
Entrada_08	Oculto_02	-1,0339
Entrada_10	Oculto_04	-0,8266
Entrada_11	Oculto_03	-1,0378
Entrada_15	Oculto_01	-1,0943
Entrada_16	Oculto_02	-0,6533
Entrada_19	Oculto_04	-0,8074
Oculto_01	Saída_01	-2,4937
Oculto_02	Saída_01	-2,1440
Oculto_03	Saída_01	-2,3975
Oculto_04	Saída_01	-2,6846

A arquitetura da rede MLP, após poda de nós, para a IM Visual-espacial é apresentada na Figura 5.11.

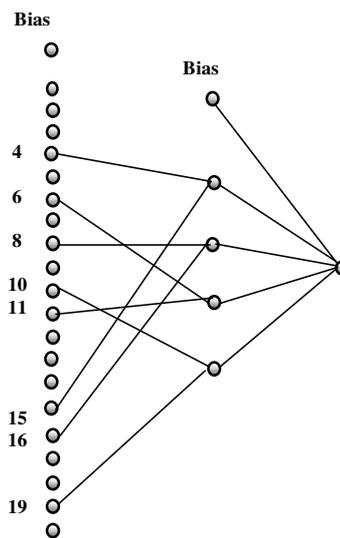


Figura 5.11 Arquitetura resultante rede MLP, após poda dos nós, para a IM Visual-espacial.

Os testes realizados para a Inteligência Cinestésico-corporal são apresentados na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 Resultado dos testes do rede MLP para a IM Cinestésico-corporal.

Testes	Época	Time cte	Relevance	Max	RMS	Max	RMS	Perguntas	quant.
			Threshold	erro treinam.	erro treinam.	erro teste	erro teste	resultantes	total de perguntas
TESTE1	30000	10	0,2	0,75	0,16	0,49	0,25	1, 3, 4, 10, 11, 13,16, 17	8
TESTE2	30000	20	0,2	0,47	0,11	0,37	0,14	1, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 13, 14 16, 17	11
TESTE3	30000	30	0,2	0,32	0,1	0,51	0,18	1, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 13, 14, 16, 17	11
TESTE4	30000	5	0,2	0,75	0,16	0,48	0,25	1, 3, 4, 10, 11, 13,16, 17	8
TESTE5	30000	3	0,2	0,76	0,18	0,52	0,18	1, 2, 3, 4, 10, 14, 16	7
TESTE6	30000	2	0,2	0,9	0,21	0,56	0,22	1, 2, 4, 10	4

Para a IM Cinestésico-corporal o questionário inicial de 18 perguntas foi reduzido para 7 perguntas. Observa-se que nos testes realizados, o teste 6 apresentou uma quantidade menor de perguntas, porém como os erros foram considerados elevados, optou-se pela escolha do teste 5 (7 perguntas). As perguntas resultantes, portanto, são: 1, 2, 3, 4, 10, 14 e 16 do teste apresentado no Cap.5(RP/D-IEB-01/2004).

A seguir, será apresentado na Tabela 5.12, o resultado da rede MLP para 15 indivíduos não utilizados no treinamento. No Cap-6 [RP/D-01-2004] são demonstrados os resultados dos vários testes com maior quantidade de indivíduos, para a IM Cinestésico-corporal.

Tabela 5.12 Obtenção do erro, da IM Cinestésico-corporal, entre as notas dos indivíduos e notas fornecidas pela Rede MLP com treinamento *backpropagation* com momento e podas de nós. Estes resultados são para indivíduos não utilizados no treinamento.

Indivíduos	Notas	Rede MLP	
		Teste 5	Erro T.5
Ind 205	2,4	2,1	0,4
Ind 206	2,4	2,7	0,3
Ind 207	3,3	2,9	0,4
Ind 208	3,4	3,3	0,1
Ind 209	2,6	2,5	0,1
Ind 210	2,8	3,1	0,3
Ind 211	2,9	3,1	0,2
Ind 212	2,1	2,3	0,2
Ind 213	2,3	2,9	0,6
Ind 214	2,9	3,0	0,1
Ind 215	2,7	3,1	0,4
Ind 216	2,7	3,0	0,3
Ind 217	2,1	2,2	0,1
Ind 219	2,9	2,9	0,0
Ind 220	3,0	3,0	0,0

A curva de erro de treinamento para a rede escolhida (teste 5), para a IM Cinestésico-corporal, é apresentada na Figura 5.12.

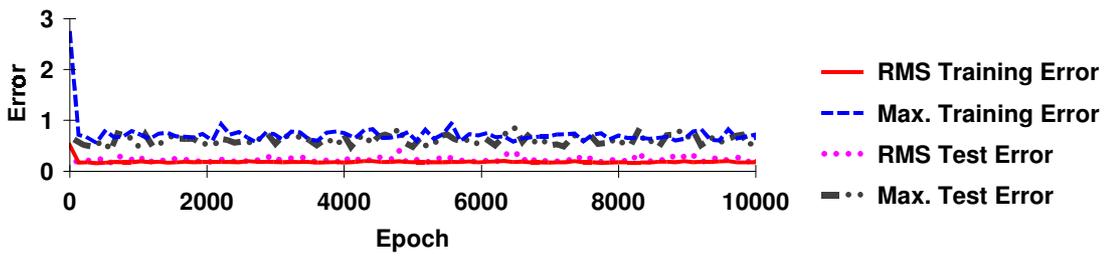


Figura 5.12 Curva de erro para a rede MLP usando o nó de *pruning* no treinamento para a IM Cinestésico-corporal.

Tabela 5.13 Valor dos pesos resultantes, após o treinamento da rede MLP com podas de nós, para a IM Cinestésico-corporal.

De um neurônio	Para outro neurônio	Valor dos pesos
Bias	Saída_01	4,1781
Entrada_01	Oculto_03	-1,1541
Entrada_02	Oculto_02	-0,6904
Entrada_03	Oculto_01	-0,6292
Entrada_04	Oculto_01	-0,7905
Entrada_10	Oculto_03	-1,0388
Entrada_14	Oculto_01	-0,5511
Entrada_16	Oculto_02	-1,2508
Oculto_01	Saída_01	-3,3207
Oculto_02	Saída_01	-2,1379
Oculto_03	Saída_01	-2,2057

A arquitetura da rede MLP, após poda de nós, para a IM Cinestésico-corporal é apresentada na Figura 5.13.

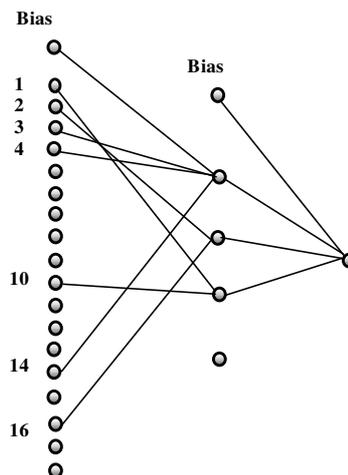


Figura 5.13 Arquitetura resultante da rede MLP, após podas dos nós, para a IM Cinestésico-corporal.

Com este procedimento houve, portanto, redução da dimensionalidade das perguntas do teste de múltipla escolha que identifica os valores das Inteligências

Múltiplas consideradas. Das 76 perguntas iniciais restaram 30, conforme sumarizado na Tabela 5.14. Nesta é apresentada, para cada IM considerada, a quantidade inicial total de pergunta, os números e a quantidade de perguntas resultantes.

Tabela 5.14 Listagem das perguntas resultantes do teste de IM para todas as IM consideradas.

Inteligência Múltipla	Quantidade total de perguntas	Número das perguntas resultantes	Quantidade total de perguntas resultantes
Linguístico-verbal	20	4, 12, 13, 17, 19 e 20	6
Lógico-matemática	18	1, 2, 4, 5, 8, 9, 14, 16 e 18	9
Visual-espacial	20	4, 6, 8, 10, 11, 15, 16 e 19	8
Cinestésico-corporal	18	1, 2, 3, 4, 10, 14 e 16	7
Total de perguntas	76		30

Das Tabelas 1.2 até 1.13 pode-se concluir que, para o problema em questão, o procedimento de podas de nós mostrou-se eficiente como método de redução de dimensionalidade. Salienta-se entretanto, a necessidade de mais estudos no sentido de validar a generalização deste método para redução de dimensionalidade como uma alternativa aos métodos estatísticos clássicos.

No caso específico aqui tratado o procedimento de podas de nós foi implementado na plataforma *Data Engine*, enquanto que todos os outros procedimentos utilizaram-se da plataforma MatLab por conseguinte foi necessário implementar as redes resultantes do procedimento de podas de nós na plataforma MatLab. Para isto os pesos gerados pelo *Data Engine* foram reproduzidos na plataforma MatLab e testes realizados para validar a implementação de cada rede referente a cada IM considerada

Para validar a implementação de cada rede na plataforma MatLab foi verificado se as notas obtidas do teste, em ambas as implementações, para os 215 indivíduos, eram as mesmas.

Para o caso da IM Linguística-verbal a Tabela 5.15 sumariza os resultados. Nesta tabela os parâmetros utilizados no *Data Engine* são: *relevance threshold* 0,2 e *time constant* 5,0 (teste 4). A primeira coluna apresenta o valor calculado segundo o método de Celso Antunes considerando, portanto, todas as perguntas. A segunda coluna apresenta os resultados do MatLab, utilizando-se dos pesos gerados pelo *Data Engine*, considerando apenas 6 perguntas (4, 12, 13, 17, 19, 20), e a terceira coluna apresenta as notas fornecidas pelo *Data Engine*. As outras colunas são referentes aos erros. Como pode ser observado, a implementação em MatLab fornece os mesmos resultados que aquela do *Data Engine* (erro zero, entre eles), validando portanto esta

implementação.

Tabela 5.15 Comparação das notas obtidas com o *Data Engine* e o MatLab, com a inserção dos pesos obtidos do *software Data Engine*, para a IM Lingüístico-verbal.

Verbal			ERROS c/ REAL		ERRO
Real	Matlab	Data Engine	Matlab	Data Engine	Matlab e Data Engine
2,7	2,8	2,8	0,1	0,1	0,0
3,7	3,7	3,7	0,0	0,0	0,0
2,6	3,0	3,0	0,4	0,4	0,0
2,6	2,7	2,7	0,1	0,1	0,0
2,6	2,7	2,7	0,1	0,1	0,0
2,7	2,6	2,6	0,1	0,1	0,0
3,1	3,0	3,0	0,1	0,1	0,0
3,1	3,0	3,0	0,1	0,1	0,0
2,1	2,3	2,3	0,3	0,3	0,0
2,3	2,4	2,4	0,1	0,1	0,0

Para as outras IMs pode-se observar, pelas: Tabela 5.16, Tabela 5.17, Tabela 5.18, resultados semelhantes e, conseqüentemente, conclui-se pela validade de todas as redes implementadas em MatLab.

Na Tabela 5.16, os parâmetros utilizados, para a IM Lógico-matemática, no *software Data Engine*, são: *relevance threshold* 0,2 e *time constant* 2,0 (teste 6).

Tabela 5.16 Comparação das notas obtidas com o *Data Engine* e o MatLab, com a inserção dos pesos obtidos do *software Data Engine*, para a IM Lógico-matemática.

Lógico			ERROS c/ REAL		ERRO
Real	Matlab	Data Engine	Matlab	Data Engine	Matlab e Data Engine
3,4	3,3	3,3	0,2	0,2	0,0
2,8	2,6	2,6	0,2	0,2	0,0
3,6	3,5	3,5	0,0	0,0	0,0
2,6	2,8	2,8	0,2	0,2	0,0
3,5	3,6	3,6	0,1	0,1	0,0
2,8	2,9	2,9	0,1	0,1	0,0
3,3	3,4	3,4	0,1	0,1	0,0
2,8	3,0	3,0	0,2	0,2	0,0
3,3	3,3	3,3	0,1	0,1	0,0
3,1	3,2	3,2	0,1	0,1	0,0

Na Tabela 5.17, os parâmetros utilizados, para a IM Visual-espacial, no *software Data Engine*, são: *relevance threshold* 0,2 e *time constant* 3,0 (teste 7).

Tabela 5.17 Comparação das notas obtidas com o *Data Engine* e o MatLab, com a inserção dos pesos obtidos do *software Data Engine*, para a IM Visual-espacial.

Visual			ERROS c/ REAL		ERRO
Real	Matlab	Data Engine	Matlab	Data Engine	Matlab e Data Engine
3,6	3,2	3,2	0,4	0,4	0,0
3,2	3,0	3,0	0,2	0,2	0,0
2,9	2,3	2,3	0,5	0,5	0,0
2,1	2,0	2,0	0,1	0,1	0,0
3,2	3,0	3,0	0,2	0,2	0,0
3,2	3,2	3,2	0,0	0,0	0,0
3,2	2,9	2,9	0,3	0,3	0,0
2,6	2,4	2,4	0,2	0,2	0,0
3,1	2,9	2,9	0,2	0,2	0,0
2,9	2,9	2,9	0,0	0,0	0,0

Na Tabela 5.18, os parâmetros utilizados, para a IM Cinestésico-corporal, no *software Data Engine*, são: *relevance threshold* 0,2 e *time constant* 3,0 (teste 5).

Tabela 5.18 Comparação das notas obtidas com o *Data Engine* e o MatLab, com a inserção dos pesos obtidos do *software Data Engine*, para a IM Cinestésico-corporal.

Cinestésico			ERROS c/ REAL		ERRO
Real	Matlab	Data Engine	Matlab	Data Engine	Matlab e Data Engine
2,6	2,7	2,7	0,1	0,1	0,0
3,3	3,3	3,3	0,1	0,1	0,0
2,5	2,3	2,3	0,2	0,2	0,0
2,2	2,3	2,3	0,0	0,0	0,0
2,6	2,7	2,7	0,1	0,1	0,0
2,6	2,8	2,8	0,2	0,2	0,0
3,5	3,3	3,3	0,2	0,2	0,0
2,3	2,6	2,6	0,3	0,3	0,0
2,8	2,6	2,6	0,1	0,1	0,0
2,7	2,7	2,7	0,0	0,0	0,0

Após a confirmação do método de redução e classificação, com obtenção de resultados satisfatórios, este foi implementado no protótipo desenvolvido.

### 5.1.6 Classificação das IMs do Usuário

Na determinação das características do usuário para a adaptação do sistema foi utilizado o teste de múltipla escolha de Celso Antunes (determinação das IMs) e, como este era extenso, houve necessidade de realizar a sua redução. Na busca de uma solução para a sua redução desenvolveu-se, concomitantemente, um método de classificação dos resultados qual seja o método de podas de nós (como demonstrado na seção anterior). Assim, este método é utilizado no sistema adaptativo proposto para a determinação do perfil do usuário.

Depois de já definidas as perguntas mais relevantes, para a obtenção das notas de IMs necessárias para a adaptação, estas perguntas são apresentadas ao usuário

pelo módulo de Interface (que será discutido e detalhado posteriormente). O usuário, ao ter acesso ao sistema, preenche o teste de múltipla escolha e o resultado vai sendo armazenado em um arquivo, denominado resultado\_html.txt. Este arquivo contém um vetor de 30 linhas por uma coluna onde cada linha apresenta a resposta de uma pergunta do teste de múltipla escolha. Portanto, cada uma das linhas contém o número da pergunta, seguido da letra escolhida: S, s, n, N (“S” significando sim com muita ênfase, “s” sim com pouca ênfase, “n” não com pouca ênfase e “N” não com muita ênfase).

A partir de então, o módulo do usuário passa a “comandar” o processo. Este módulo vai “ler” o arquivo resultado\_html.txt, gerado pelo módulo Interface e converter as marcações do teste em valores numéricos. Ou seja, cada resposta da pergunta representada em uma linha do vetor do arquivo resultado\_html.txt apresenta um símbolo (S, s, n ou N), este símbolo é convertido em números (1, 0.75, 0.5 e 0.25, respectivamente). Estes números convertidos (trinta no total) são separados em quatro vetores menores (vetores verbal, lógico, visual e cinestésico), armazenados e transmitidos para quatro diferentes arquivos (uma rede MLPs com podas de nós em cada arquivo, para cada IM considerada) que geram os valores das notas das IMs (que variam de 1 a 4, com incremento de 0,1), conforme apresentado na Figura 5.14. Já, a Figura 5.15 apresenta com maiores detalhes o procedimento da rede MLP.

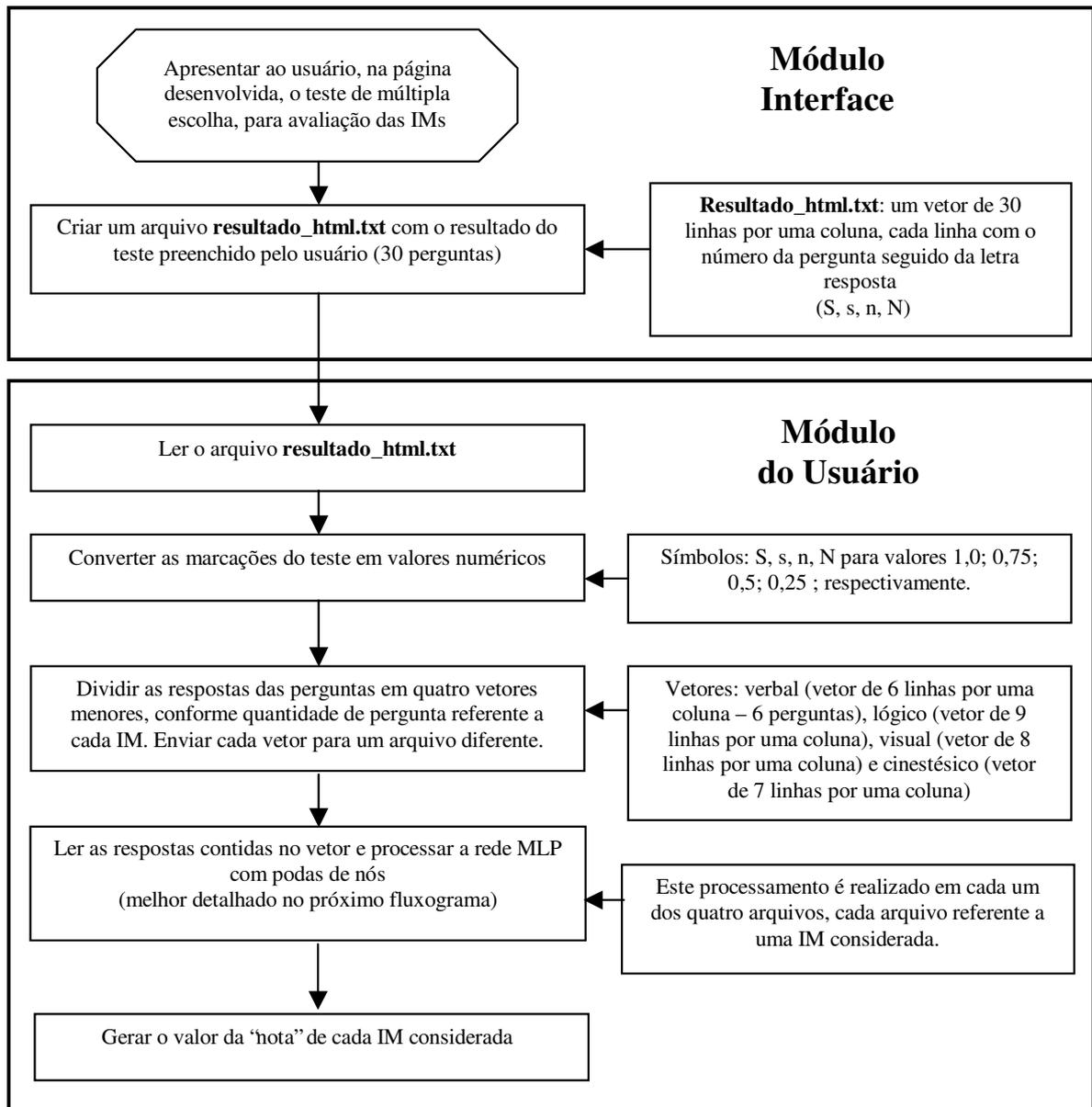


Figura 5.14 Representação da conversão do teste de múltiplas escolhas das IMs em “nota”.

Os tamanhos dos vetores menores mencionados são determinados pela quantidade de pergunta referente a cada IM, sendo estas definidas na redução de dimensão do questionário. Ou seja, o vetor verbal tem seis linhas por uma coluna (possuem 6 perguntas referentes à IM Lingüístico-verbal), o vetor lógico tem 9 linhas (9 perguntas), o vetor visual tem 8 linhas (8 perguntas) e o vetor cinestésico 7 linhas (7 perguntas), totalizando as 30 perguntas iniciais apresentadas ao usuário.

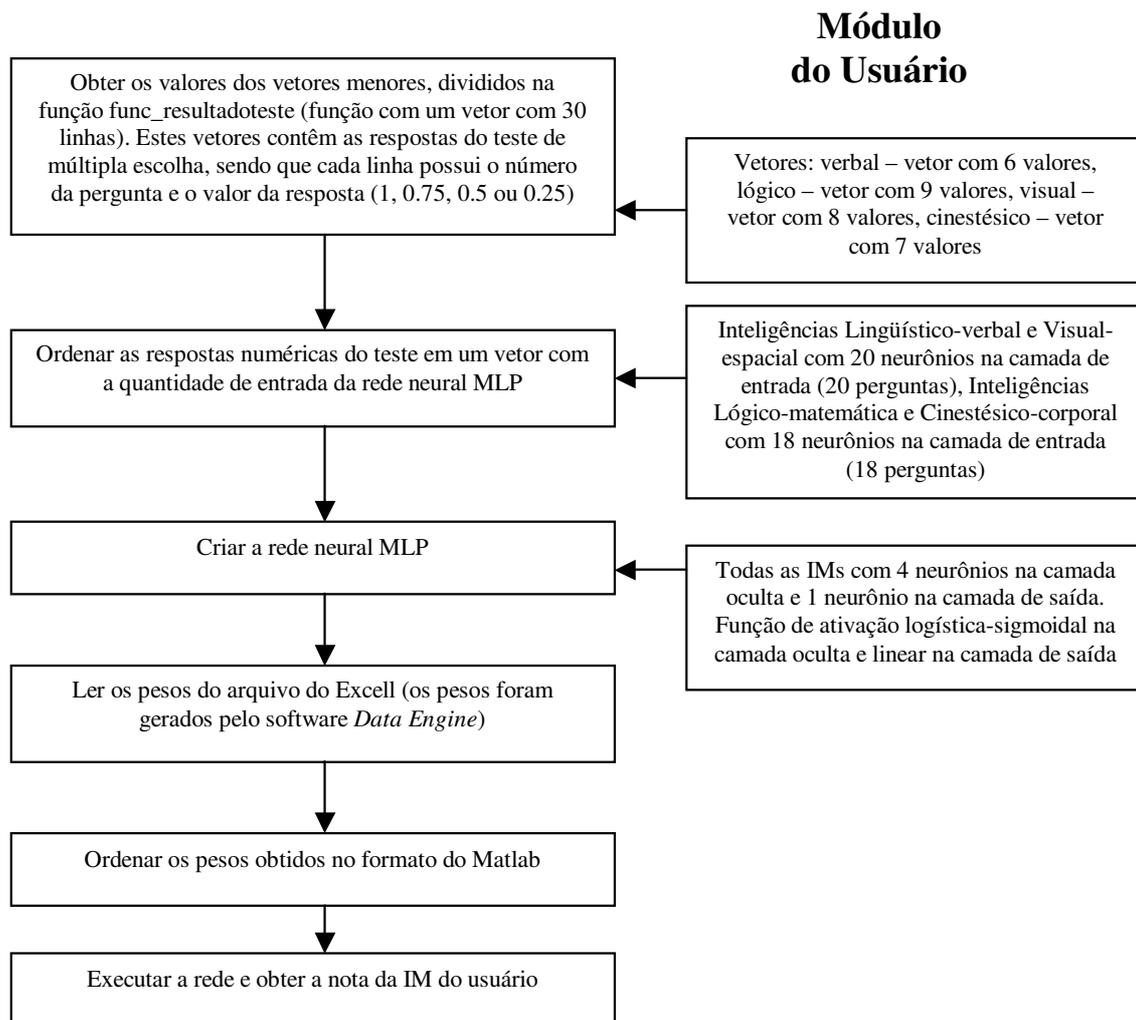


Figura 5.15 Detalhamento do uso da rede MLP para obtenção da nota de uma IM (este processamento é realizado em cada uma das IMs consideradas).

Os pesos das ligações sinápticas obtidas do *software Data Engine* são armazenados em um arquivo Excel e devem ser ordenados da seguinte maneira: uma coluna com a sua origem, uma coluna com o seu destino e uma coluna com o seu valor numérico. A origem e destino dos pesos são nomeados com uma letra (letra *e* representa neurônio da camada de entrada, letra *o* da camada oculta, letra *s* da camada de saída e letra *b* representa o *bias*), seguido de *underscore* e o número do neurônio destino (o número deve conter 2 dígitos). A Tabela 5.1.19 mostra um exemplo de como são formatados os pesos que serão lidos pelo MatLab.

Tabela 5.1.19 Representação de como devem ser especificados os pesos que serão lidos pelo programa desenvolvido em MatLab. Os pesos deste exemplo são da IM verbal.

b_01	o_01	-2,87331017267
b_01	s_01	2,33434023063
e_04	o_04	-1,24695308715
e_12	o_01	1,52810840578
e_13	o_01	0,83657335383
e_17	o_01	1,09205203016
e_19	o_04	-1,78010248462
e_20	o_01	0,66550869826
o_01	s_01	1,88291319868
o_04	s_01	-2,77101039672

A rotina principal do sistema desenvolvido é denominada *HipermidiaPrincipal.m*, e nela estão inseridas funções específicas. A função desenvolvida para a conversão das marcações do teste de múltipla escolha em valores numéricos é denominada *func\_resultadoteste* e cada nota de IM é calculada em uma função separada, sendo estas: *func\_notaverbal*, *func\_notalogica*, *func\_notavisual*, *func\_notacinestesica*, as quais possuem as redes MLP com podas de nós. Os resultados obtidos são armazenados e utilizados pelo Módulo Gerador de Adaptação, o qual faz a adaptação necessária, conforme será descrito na próxima seção.

## 5.2 Módulo gerador de adaptação

Este módulo é aquele responsável pelo mecanismo de adaptação do sistema e se constitui no mais importante e complexo dos três módulos. Ou seja, cabe a ele definir qual mídia (texto, fluxograma, desenho ou animação) será apresentada representando cada assunto do conteúdo, conforme o perfil do usuário.

Para a concepção das especificações deste módulo, uma série de características (demandas) iniciais foi analisada e definida, tais como:

1. de que maneira a adaptação seria realizada no protótipo (*site*) de forma a se adequar ao perfil individual do usuário;
2. de que forma o usuário iria intervir no sistema para adequá-lo a sua vontade e,
3. qual(is) ferramenta(s) seria(m) utilizada(s) no mecanismo do módulo gerador.

De forma a especificar a primeira demanda, ou seja, a determinação de como seria realizada a adaptação do sistema em função do perfil do usuário foi utilizada a Teoria das Inteligências Múltiplas como citado em capítulos anteriores. Das oito IMs originais da teoria, quatro foram aqui utilizadas (Linguística-verbal, Lógico-matemática, Visual-espacial e Cinestésico-corporal). O módulo do usuário fornece o valor correspondente de cada uma das IMs consideradas (valores que variam de 1 a 4,

com incremento de 0,1). Em função destes valores, este módulo define quais mídias serão utilizadas e como elas serão apresentadas.

Várias soluções foram analisadas, dentre outras, tais como a divisão da tela em quatro partes, uma para cada mídia, sendo o assunto apresentado com uma porcentagem da referida mídia, conforme as IMs do usuário; ou a habilitação e desabilitação percentual de certas mídias que estivessem espalhadas na tela, segundo as IMs de um determinado usuário.

No entanto, de forma a proporcionar uma melhor apresentação ao usuário uma terceira solução foi escolhida: dividir o conteúdo em assuntos, sendo que cada um destes seria apresentado em uma das quatro mídias determinadas.

Na implementação do protótipo optou-se em dividir e apresentar o conteúdo escolhido em 20 diferentes assuntos ou tópicos. Cada assunto foi implementado nas quatro mídias (texto, fluxograma, desenho e animação) que representam cada uma das quatro IMs consideradas. Considerando um usuário de perfil desconhecido o sistema deveria apresentar os assuntos em proporções iguais para cada mídia, ou seja, 5 assuntos em cada mídia, determinadas de forma aleatória. Se for possível determinar que um usuário particular apresenta uma IM qualquer mais desenvolvida que as outras, a mídia correspondente a esta IM deveria ter sua proporção aumentada e as outras, por conseqüências, diminuídas. Conseqüentemente, a proporção de cada mídia que vai ser apresentada depende das IMs individuais do usuário. Como o protótipo é um *site*, cada assunto então, é apresentado em uma página com uma mídia especificada pelo Módulo gerador de adaptação.

Na Figura 5.16 pode ser verificado que, todas as quatro mídias para cada assunto foram projetadas e o usuário poderá visualizar cada assunto em uma única mídia. Ou seja, para um determinado indivíduo poderá ser apresentado o assunto 1 em texto (T1), o assunto 2 em desenho (D2) e assim até o último assunto, T20, por exemplo. Fica definido, portanto, que será utilizada a letra T para representar texto, a letra L para lógica, a letra D para desenho e a letra A para animação.

Assunto	MÍDIAS			
	Texto	Lógica	Desenho	Animação
1	T01	L01	D01	A01
2	T02	L02	D02	A02
3	T03	L03	D03	A03
4	T04	L04	D04	A04
..	..	..	..	..
..	..	..	..	..
..	..	..	..	..
..	..	..	..	..
18	T18	L18	D18	A18
19	T19	L19	D19	A19
20	T20	L20	D20	A20

Figura 5.16 Representação das possibilidades de apresentação do assunto nas mídias texto, lógica, desenho ou animação. O conteúdo é dividido em 20 assuntos e cada um destes assuntos pode ser apresentado em uma mídia, sendo esta definida pela rede neural que está contida no sistema desenvolvido.

Para especificar a segunda demanda, ou seja, de que forma o usuário iria intervir no sistema para adequá-lo a sua vontade, definiu-se que o usuário poderia modificar a mídia apresentada pela escolha (através de botões) de uma das outras três. Esta abordagem apresenta várias vantagens, conforme segue:

1. como o perfil inicial do usuário pode não ser preciso devido ao fato do questionário inicial ter tido sua dimensionalidade reduzida, o que implica em um erro, este sistema permite que o usuário intervenha ao longo de sua interação com o sistema, corrigindo esta imprecisão;
2. possibilita que o usuário intervenha mudando a apresentação definidas pelo sistema, incrementando desta forma, as características dos Sistemas Hipermídia Adaptativos.

Para especificar a terceira demanda, qual(is) ferramenta(s) seria(m) utilizada(s) no mecanismo do módulo gerador, torna-se necessário analisar mais detalhadamente como foi concebido conceitualmente o mecanismo de adaptação.

Como já citado, as características consideradas do usuário seriam os valores (notas) de quatro de suas IMs (Inteligências Linguístico-verbal, Lógico-matemática, Visual-espacial e Cinestésico-corporal) e que elas seriam caracterizadas através do uso diferenciado de algumas mídias na apresentação do conteúdo do *site* (protótipo do sistema): texto, fluxogramas (lógica), desenho e animação, respectivamente. Todas as mídias seriam apresentadas, determinadas pelas IMs individuais do usuário e uma estratégia pedagógica especificada, em particular.

Como são consideradas quatro IMs e como cada inteligência possui uma nota

de 1 a 4, com incremento de 0,1, e cada indivíduo pode ter uma variação diferente destas IMs, o universo de possibilidade de diferentes indivíduos, considerando-se todas as possibilidades, seria de novecentos e vinte e três mil e quinhentos e vinte um (923.521) indivíduos. Como este universo é bastante grande, pensou-se em utilizar redes neurais artificiais para uma adaptação individual e personalizada. A rede forneceria, conforme as notas de cada IM e a estratégia definida por especialistas, a forma de apresentação das mídias individualmente. O uso de rede neural artificial seria, portanto, uma boa ferramenta para a solução do problema.

Com estas especificações definidas o próximo problema passa a ser a escolha da rede neural constituinte do mecanismo de adaptação.

Inicialmente optou-se em verificar a possibilidade de se utilizar somente a rede neural artificial do tipo IAC, modelo original de Rumelhart, devido a suas características intrínsecas, conforme segue:

- A rede implementa o funcionamento de uma memória associativa, possibilitando que a ativação de uma característica definida na rede, atue sobre as demais.
- A possibilidade de um neurônio ser entrada em um momento, ou ser saída em outro. Ou seja, qualquer neurônio pode ser considerado entrada ou saída, caracterizando a chamada bidirecionalidade. Esta característica é interessante pelo fato de que, depois de definidas as mídias apresentadas, novas ações determinadas pelo usuário, ao utilizar o sistema, modificam a condição da rede (adaptabilidade) e os neurônios, que no momento anterior eram considerados saídas, podem ser entradas no momento atual.
- A possibilidade de ativações anteriores serem “memorizadas” de forma a serem utilizadas no processo juntamente com as ativações atuais. Ou seja, a rede sempre pode ir armazenando os valores anteriores obtidos, que são determinados pelas ações do usuário.
- Outra característica interessante é a não determinação de um número fixo de neurônios que devam ser ativados, ou seja, pode ser ativado somente um neurônio, dois, três ou quantos foram necessários no momento desejado. Como já mencionado, a rede apresenta a característica de recuperação da descrição total de um conceito a partir de uma descrição parcial.

Observa-se, entretanto, que na rede IAC o principal problema, e possivelmente

a maior dificuldade, está em se definir uma topologia que represente de maneira adequada o problema em questão e não, na obtenção dos pesos sinápticos (o que normalmente é feito através de um algoritmo de aprendizado em outros tipos de redes). Ou seja, como já discutido anteriormente, os neurônios são divididos em grupos que representam conceitos, cada neurônio dentro de um grupo representando uma característica particular. Em um mesmo grupo, os neurônios têm inibição total, o que implica, em princípio, que estes neurônios representam características mutuamente excludentes e, por conseqüência, em situação de equilíbrio, apenas um neurônio, por grupo, deverá estar ativado.

Mencionou-se também que não existem algoritmos de aprendizado para esta rede e, conseqüentemente, os pesos não são ajustados, e sim são definidos *a priori*. em uma matriz que caracteriza a relação entre os neurônios que são agrupados em vários *pools* (grupos), sendo os valores possíveis para os pesos apenas três (-1, 0 e 1). Nota-se ainda que, em contrapartida e majoritariamente, o problema principal de outras redes é o aprendizado.

A arquitetura da rede e os pesos caracterizam, portanto, o conhecimento da rede. Ou seja, a tarefa principal do projetista na busca de uma solução para um problema se encontra, exclusivamente, em definir uma topologia que melhor represente o problema.

Portanto, como mencionado anteriormente, o modelo original das redes IAC, ou modelo Rumelhart, que possui uma topologia bastante característica, deve ser constituída de um conjunto de *pools* ou grupos, onde um destes é o *pool* ou grupo escondido, que faz a conexão entre os demais, deve ser projetada da seguinte maneira:

- Definir, inicialmente, quais os “conceitos” envolvidos no problema, ou seja, definir quais serão os grupos ou *pools*. Observa-se que cada um destes conceitos representará os grupos visíveis, pois os neurônios pertencentes a eles devem ser ativados ou devem ser utilizados para fornecer resultados.
- Definir todos os possíveis “elementos” ou “características” para cada conceito, sendo que, cada um destes representará um neurônio dentro do *pool*. Uma observação importante é que todos os elementos que serão agrupados dentro do mesmo *pool* deverão ser excludentes, ou seja, um elemento deve inibir completamente o outro. As conexões entre os neurônios de um mesmo *pool* indicam, portanto, competição. E, quando um neurônio ou elemento é ativado,

por uma excitação externa à rede, nenhum outro neurônio dentro do mesmo grupo poderá sê-lo.

- Definir qual dos grupos de “conceitos” irá gerar o grupo espelho, ou escondido, através do qual todos os neurônios de todos os demais grupos se relacionam por meio de ligações excitatórias. E, devido a este fato, o maior grupo de todos os existentes é, normalmente, o que dá origem ao grupo espelho.
- Estabelecer se há existência de relação ou não (1 ou 0) entre os neurônios (características) do *pool* escondido com os neurônios (características) dos demais *pools*. Ou seja, estabelecer os valores dos pesos entre as relações dos neurônios do *pool* escondido e os neurônios visíveis.
- Montar a matriz de pesos pelas definições obtidas.

De forma a testar diversas arquiteturas de redes IAC para solução do problema foi desenvolvido um programa genérico em MatLab, que permite, pela definição do número de *pools* e neurônios por *pool* a implementação automática de qualquer rede IAC modelo original.

Para a implementação de uma rede são necessários três passos: definir o número de *pools*, o número de neurônios por *pool* e as relações entre neurônios de diferentes *pools*. No programa desenvolvido, depois de definidos os dois primeiros passos, os dados resultantes são utilizados na montagem de uma planilha Excel (terceiro passo) a ser lida pelo programa MatLab. Esta planilha representa a matriz da relação entre cada *pool* e o *pool* escondido e, por consequência, o projetista deve preencher com os valores 0 (não relação entre características) ou 1 (relação entre características) as células de intersecção entre os neurônios de cada *pool* e os neurônios do *pool* escondido. Esta planilha pode ser entendida como o verdadeiro conhecimento das relações entre os diferentes conceitos e, pela sua leitura, o programa MatLab monta automaticamente a matriz conhecimento completa da rede IAC. Esta matriz, por sua vez, é simétrica com diagonal nula conforme mostrado na Figura 5.17.

Nesta figura pode ser observada a diagonal nula, os diferentes *pools* visíveis e escondido, a existência do valor  $-1$  ligando neurônios de um mesmo *pool* (o que implica em competição) e, o conhecimento acerca das relações entre os diversos *pools* e o *pool* espelho que é lido da planilha Excel.

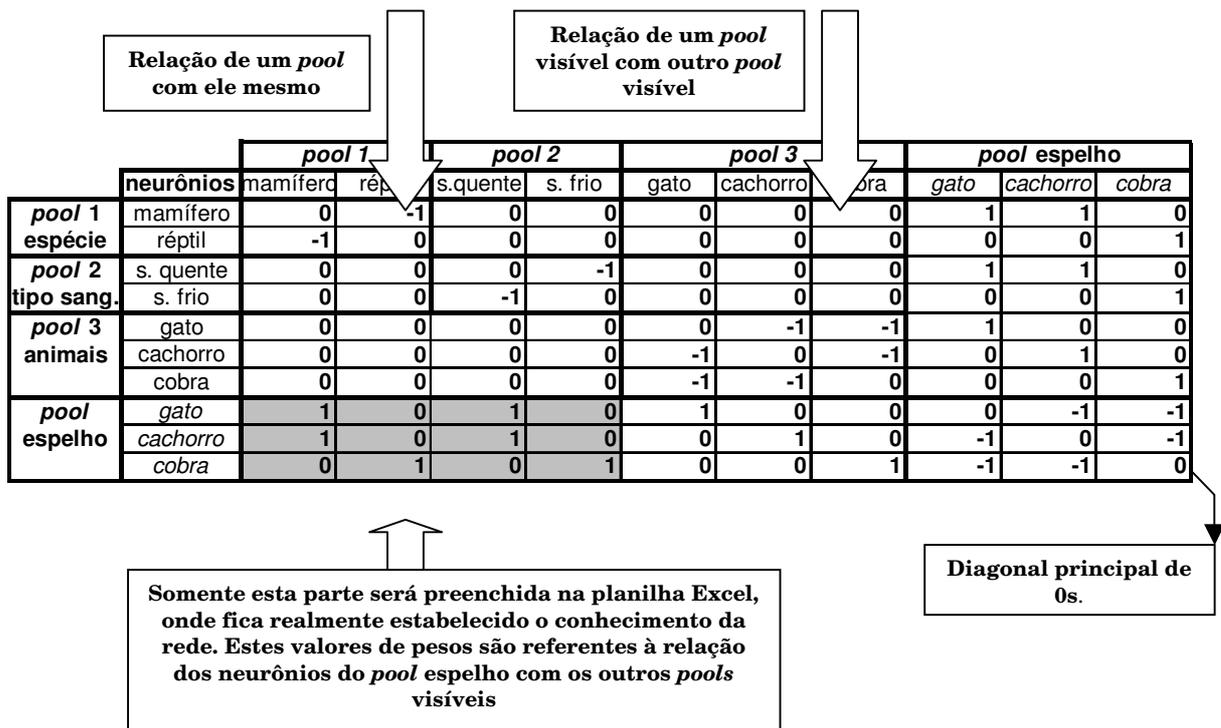


Figura 5.17 Exemplo de uma matriz de pesos completa de uma rede neural do tipo IAC. Somente a parte em cinza será preenchida na matriz do Excel, pois o restante da matriz será preenchida automaticamente pelo *software* desenvolvido em MatLab.

De forma a ser lida pelo programa MatLab a planilha do Excel deve ser preenchida da seguinte forma:

- Numerar todos os *pools* visíveis que fazem parte da rede, sendo que o último *pool* a ser numerado deve ser o *pool* visível que gera o *pool* espelho ou escondido. Ou seja, se existem três *pools* na rede mais o escondido, o *pool* numerado como 003 deve ser o *pool* que dá origem ao *pool* escondido. A numeração deve apresentar três dígitos. Ex: *pool* número 1 = 001, *pool* 2 = 002 e assim, sucessivamente.
- Nomear os neurônios dos *pools*: o neurônio será numerado com os três dígitos do número do *pool* seguido do nome do neurônio. Se o “nome” do neurônio for um número deverá ser colocado o caractere *underscore* após o nome do neurônio. Exs: 001réptil (neurônio com nome réptil pertencente ao *pool* 1), 002\_20 (neurônio com “nome” 20 pertencente ao *pool* 2).
- As colunas e as linhas da seguinte forma: na primeira coluna, a partir da segunda linha em diante, são colocados os nomes dos neurônios do último *pool*,

ou seja, os neurônios do *pool* que da origem ao *pool* escondido.

- Na primeira linha, a partir da segunda coluna, colocar o nome dos neurônios na ordem de nomeação dos *pools*, ou seja colocar o nome de todos os neurônios do *pool* 1, em seguida todos os neurônios do *pool* 2, até os neurônios do penúltimo *pool*.
- Preencher o valor dos pesos (0 ou 1), conforme a relação entre os neurônios e salvar a planilha.

A Figura 5.18 apresenta um exemplo de como deve ser preenchida a matriz no Excel.

	001jets	001shark	002_30	002_40	003JH	003Col	004Sing	004Mar	005Push	005Burgl	005Booki
006Art	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0
006AI	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0
006Phil	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0
006Ike	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1

Figura 5.18 Demonstrativo da planilha a ser preenchida com os nomes dos neurônios, *pools* e pesos, utilizada no programa genérico da rede IAC.

O programa MatLab é discutido a seguir e seu fluxograma encontra-se no Cap-7 (RP/D-IEB-01/2004).

A Figura 5.19, a seguir, apresenta a tela inicial do sistema. Nesta tela existem alguns botões onde o usuário pode definir os parâmetros desejados da rede:

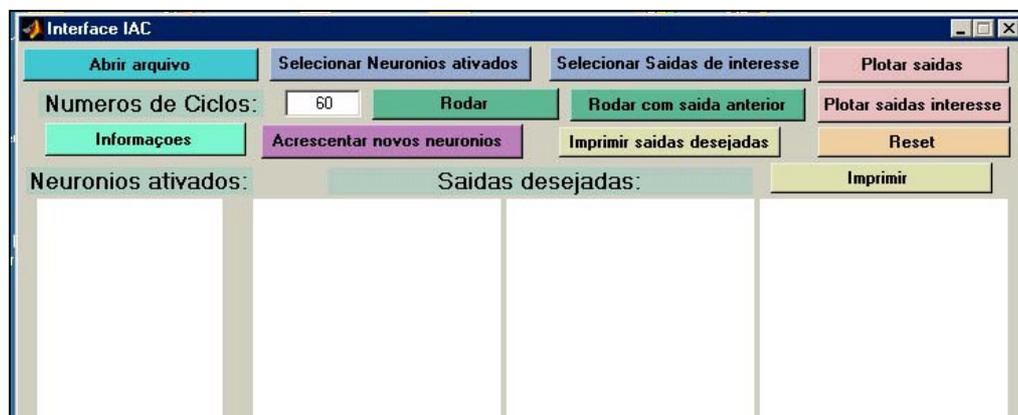


Figura 5.19 Tela inicial do *software* desenvolvido em MatLab para implementar redes IAC, modelo Rumelhart padrão.

- Ao clicar o botão **abrir arquivo** surge uma caixa onde o usuário escolhe o arquivo do Excel a ser aberto (arquivo onde se encontram os pesos da rede que se pretende executar), conforme Figura 5.21.

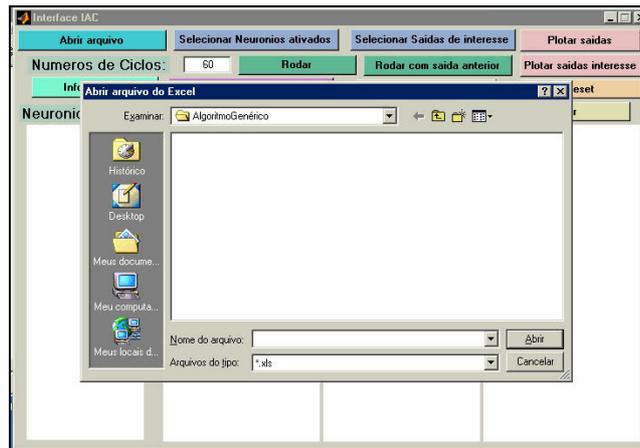


Figura 5.20 Tela do programa da rede IAC quando é selecionado o botão abrir, para escolher o arquivo de pesos do Excel.

- Em **número de ciclos**, digita-se a quantidade de ciclos que se pretende “rodar” a rede e o programa fornece as respostas no final dos ciclos estabelecidos.
- Ao clicar o botão **selecionar os neurônios ativados** aparecerá uma janela com a listagem de todos os neurônios e, ao marcá-los, estes serão ativados na execução do programa, conforme a Figura 5.21.

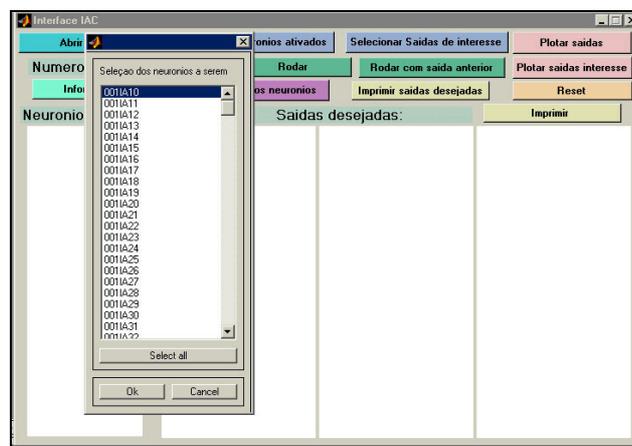


Figura 5.21 – Tela do programa onde aparece a janela de seleção dos neurônios.

- Ao selecionar o botão **selecionar saídas de interesses**, também aparecerá uma janela (igual à janela do botão anterior), com todos os neurônios e selecionam-se os neurônios cujos valores de saída são de interesse e estes serão mostrados na tela (caso não seja selecionado nenhum neurônio, todos eles serão apresentados na tela).
- Após estas seleções anteriores é possível fazer com que o programa seja executado clicando o botão **rodar**.

- Caso a rede já tenha sido executada uma vez e caso se deseje que os valores anteriores sejam utilizados na interação atual, deve-se clicar o botão **rodar com saída anterior**. A rede neste caso utiliza a “memória” da execução anterior.
- Para acrescentar mais neurônios na ativação basta clicar em **selecionar novos neurônios**.
- O botão **informações** fornece informações do sistema.
- Para plotar as saídas o usuário poderá clicar em **plotar saídas** para visualizar o gráfico do comportamento de todos os neurônios da rede ou **plotar saídas desejadas** se quiser visualizar apenas os neurônios selecionados como saída, conforme Figura 5.22. Através do gráfico é possível verificar se a rede está com valores estabilizados.
- Para imprimir a tela com o resultado obtido deve-se clicar em **imprimir** e caso queira somente imprimir os resultados requeridos deve-se clicar em **imprimir saídas desejadas**.
- Para resetar todos os neurônios escolhidos para ativação, os neurônios escolhidos como saída e resultados anteriores clica-se no botão **resetar**.

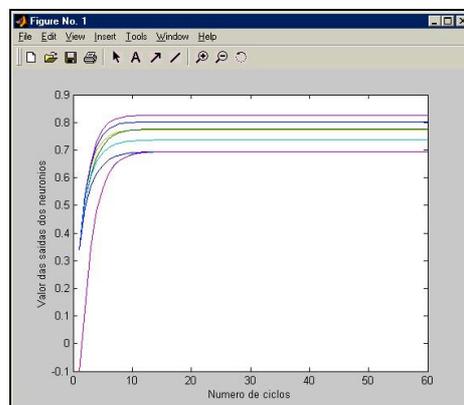


Figura 5.22 Gráfico apresentado pelo sistema.

De forma a validar este sistema desenvolvido em MatLab implementou-se com ele o problema clássico *Jets and Sharks* que Rumelhart e McClelland (1989) desenvolveram para plataforma DOS. Simulações foram realizadas com esta implementação e com o programa original e os resultados comparados tendo, ambas as redes, apresentado exatamente os mesmos resultados. A Figura 5.23 a seguir mostra uma parte dos resultados obtidos e no Cap.8 (RP/D-IEB-01/2004) se encontram

mais resultados dos testes.

ciclos 100

entrada	Jets		Sharks		in20		HS		Divorce	
saida	IAC/DOS	IAC/Matlab								
Jets	0,84	0,84	-0,14	-0,14	0,66	0,66	-0,11	-0,11	0,64	0,64
Sharks	-0,14	-0,14	0,84	0,84	-0,14	-0,14	0,58	0,58	-0,13	-0,13
in_20	0,51	0,51	-0,13	-0,13	0,84	0,85	-0,13	-0,13	0,64	0,64
in_30	-0,11	-0,11	0,65	0,65	-0,14	-0,14	0,63	0,63	-0,13	-0,13
in_40	-0,11	-0,11	-0,13	-0,13	-0,14	-0,14	-0,13	-0,13	-0,13	-0,13
JH	0,51	0,51	-0,13	-0,13	0,66	0,66	-0,14	-0,14	0,64	0,64
HS	-0,11	-0,11	-0,13	-0,12	-0,14	-0,14	0,84	0,84	-0,13	-0,13
Col	-0,11	-0,11	0,65	0,65	-0,14	-0,14	-0,14	-0,14	-0,13	-0,13
Single	0,51	0,51	-0,13	-0,13	-0,14	-0,14	0,59	0,57	-0,14	-0,14
Married	-0,11	-0,11	0,65	0,65	0,39	0,4	-0,13	-0,13	-0,09	-0,09
Divorce	-0,11	-0,11	-0,13	-0,13	0,37	0,35	-0,11	-0,11	0,82	0,82
Pusher	0,16	0,16	0,51	0,51	-0,14	-0,14	0,3	0,33	-0,13	-0,13
Burglar	0,15	0,16	-0,1	-0,11	0,66	0,66	-0,14	-0,14	0,64	0,64
Bookie	0,16	0,16	-0,1	-0,1	0,14	0,14	0,37	0,33	-0,13	-0,13

Figura 5.23 Validação pela comparação dos resultados obtidos das redes IAC desenvolvidas em DOS e em MatLab.

Após validação do programa MatLab este foi utilizado na implementação do sistema adaptativo que foi definido que seria adaptado conforme as IMs do usuário na apresentação de um conteúdo, dividido em 20 assuntos, cada um deles apresentado em uma página de um *site* em uma mídia diferente. Para este problema uma primeira solução teve como procedimento:

- Criar um *pool* para cada IM, portanto, um *pool* para IM1<sup>10</sup>(Linguístico-verbal), um *pool* para IM2 (Lógico-matemática), um *pool* para IM3 (Visual-espacial) um *pool* para IM4 (Cinestésico-corporal), sendo que, cada um destes *pools* possui neurônios que representem os valores obtidos (notas) das IMs. Os neurônios contidos nos *pools* devem ser inibitórios, ou seja, devem ser arrançados de modo a proporcionar condições para que apenas um neurônio em cada *pool* seja vencedor. Foram colocados 31 neurônios em cada um destes *pools*. Cada um representa um valor possível da IM do indivíduo, ou seja, como as notas variam de 1 até 4, com incremento de 0,1, são 31 neurônios (valores) possíveis.
- Criar 20 *pools*, um para cada assunto do conteúdo. Cada um deles possui quatro neurônios, referentes à mídia: texto, lógica, desenho e animação. Também aqui, os neurônios são inibitórios, pois eles nunca serão texto e lógica ao mesmo tempo, por exemplo.
- Criar mais dois *pools*: um com indivíduos hipotéticos e outro, um espelho deste

*pool*. Cada um destes *pools* possui 35 neurônios (indivíduos).

Pode-se visualizar a topologia de rede resultante na Figura 5.24.

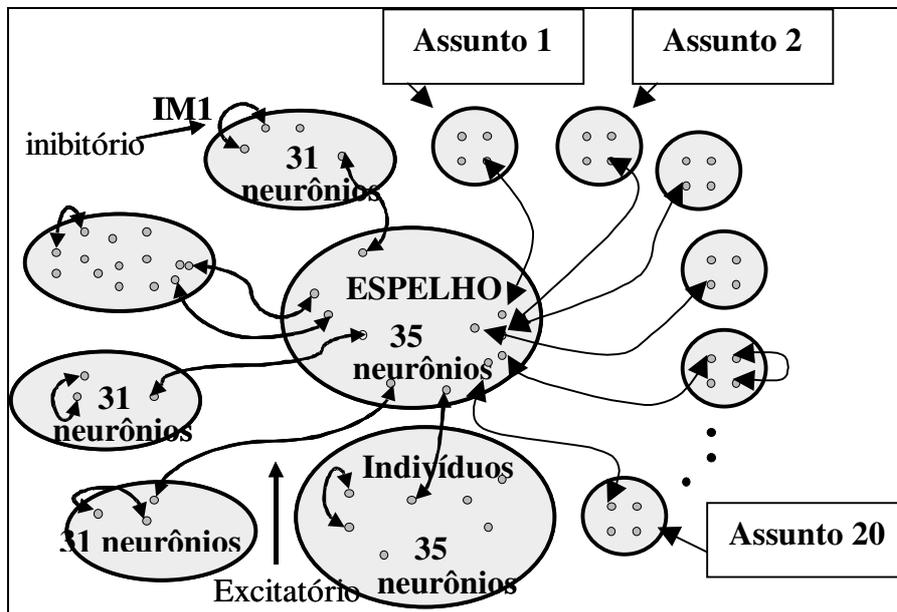


Figura 5.24 Representação da topologia da rede IAC proposta.

Nesta topologia os neurônios referentes aos valores das IMs dos usuários, e/ou os neurônios referentes às mídias do assunto e/ou os neurônios referentes aos indivíduos hipotéticos podem ser ativados, sendo que os únicos neurônios que não podem ser ativados são os do *pool* espelho.

Esta topologia de rede foi concebida de forma a fornecer como resultado a mídia a ser apresentada em determinado assunto em função das notas de IMs dos usuários. Excitando-se, por exemplo, os neurônios referentes às notas das IMs de um indivíduo, as respostas fornecidas são obtidas dos neurônios dos *pools* mídias por assunto. Da mesma forma, em um sentido inverso (adaptabilidade), caso fosse apresentado ao usuário um assunto com uma mídia definida e ele quisesse alterá-la, ele interagiria com o sistema (clicando um botão) e na rede seria excitado o neurônio referente à nova mídia escolhida. Executando-se a rede e mantendo o resultado anterior (memória) obtém-se a nova condição (nova definição de mídia) de apresentação do conteúdo ao usuário. Em outras palavras, quando o usuário recusa a sugestão do sistema, a qual é definida em função de seu perfil, e escolhe uma outra mídia, o sistema, com base nesta

<sup>10</sup> Fica convencionado, portanto, que ao se utilizar IM1 vai referir-se a Inteligência Linguístico-verbal, IM2 a inteligência Lógico-matemática, IM3 a inteligência Visuo-espacial e IM4 a inteligência Cinestésico-corporal.

escolha, modifica o perfil atual do usuário. Observe-se, no entanto, que muitas vezes o usuário pode modificar a condição do sistema, seja por curiosidade ou aborrecimento, o que não significa necessariamente em um novo “perfil” de IM do usuário. Significa apenas que o sistema “entendeu” que o usuário deseja uma mudança de “perfil” numa determinada “direção” e tenta acompanhar essa decisão.

As vantagens desta topologia implementada seriam: mesmo que apenas um neurônio fosse excitado, ainda assim, a rede forneceria uma resposta, e não necessitaria de nenhum processamento posterior para definição das mídias por assunto.

Para a execução de tal rede são definidas as notas das IMs de indivíduos hipotéticos bem como as mídias para cada assunto determinando, desta forma, o conhecimento na matriz dos pesos. Era esperado que, devido às características de memória associativa, quando notas de IMs de novos indivíduos, diferentes dos pertencentes à rede, fossem apresentadas a rede forneceria como resposta as mídias por assunto para estes indivíduos, em particular.

No desenvolvimento desta rede o maior problema foi criar os indivíduos hipotéticos, porque é difícil estabelecer, com coerência e com lógica de raciocínio, as diferenças nas apresentações em função das notas destes indivíduos. Ou seja, com esta arquitetura, devem ser definidos quantos arquivos devem ser apresentados em texto, em lógica, em desenho e animação e a ordem que serão apresentados ao usuário.

Um exemplo deste problema seria definir porque um indivíduo com determinadas notas de IMs tem uma forma de apresentação (seqüência de mídias) e outro, com notas parecidas, tem outra forma de apresentação diferente. Deve-se definir, portanto, uma coerência e lógica nos dados utilizados na matriz de conhecimento da rede de maneira que ela possa estabelecer uma forma de apresentação adequada. Além disso, seria bastante trabalhoso para um especialista (pedagogo, por exemplo) determinar uma estratégia de aplicação da Teoria das Inteligências Múltiplas.

Uma implementação de tal rede foi realizada sendo especificados os indivíduos verificando, porém, que esta forma não seria a mais adequada para a solução do problema.

A seguir, na Tabela 5.20, alguns exemplos de indivíduos com suas notas e as

médias estabelecidas são mostrados. Nesta tabela a letra T se refere a texto, a L se à lógica, a D a desenho e a A a animação.

Tabela 5.20 Exemplos de indivíduos hipotéticos, com valores de notas e médias para cada assunto associada.

Indivíduos	NOTAS DAS IMS				MÉDIAS PARA CADA UM DOS VINTE ASSUNTOS																			
	IM1	IM2	IM3	IM4	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20
1	3,4	3,9	3,7	3,4	T1	L2	D3	A4	T5	L6	D7	A8	T9	L10	D11	A12	A13	A14	L15	T16	D17	A18	L19	A20
2	2,8	2,2	2,7	1,6	A1	T2	L3	D4	T5	A6	L7	D8	A9	L10	D11	A12	T13	L14	D15	T16	D17	L18	A19	D20
3	3,0	3,3	3,2	2,7	T1	L2	L3	D4	A5	T6	L7	D8	A9	T10	A11	T12	L13	D14	L15	T16	D17	A18	L19	D20
4	3,6	3,4	2,3	2,6	L1	D2	T3	L4	T5	D6	L7	A8	A9	T10	D11	L12	T13	T14	L15	A16	T17	D18	A19	L20

Devido aos problemas descritos, outra arquitetura de rede foi implementada. Nesta arquitetura, a saída da rede fornece a quantidade de médias por assunto que deve ser apresentado ao usuário. A partir da definição da quantidade de média por assunto, a determinação de qual média para cada assunto é feita aleatoriamente no sistema. A definição da topologia da rede com esta abordagem é explicada a seguir:

- Um *pool* para cada IM, portanto, um *pool* para IM1 (Lingüístico-verbal), um para IM2 (Lógico-matemática), um para IM3 (Visual-espacial) e outro para IM4 (Cinestésico-corporal), com 31 neurônios em cada um destes *pools*. Cada neurônio representa um valor possível da IM do indivíduo, ou seja, como as notas variam de 1 até 4, com incremento de 0,1, são 31 neurônios (valores) possíveis.
- Quatro *pools*, um para cada uma das médias estabelecidas na apresentação dos assuntos do conteúdo. Portanto, um *pool* referente a texto, um referente a lógica, um a desenho e, por fim, um a animação. Cada um destes *pools* possui 17 neurônios, pois como as notas variam de 1 a 4 e todas as médias devem aparecer pelo menos uma vez, no caso limite (notas 1, 1, 1 e 4), 3 notas (as notas 1) corresponderiam a três médias e a outra nota (nota 4) corresponderiam a 17 médias totalizando, portanto, 20 médias.
- Mais dois *pools*:, um com indivíduos hipotéticos e outro um espelho deste *pool*.

Portanto, esta rede tem no total 10 *pools*, sendo que um destes é o *pool* escondido ou espelho. Não foi apresentado, anteriormente, o número de neurônios no *pool* indivíduos porque como esta topologia de rede foi considerada a melhor de ser implementada até então, vários testes foram realizados com diferente número de indivíduos.

As notas são aquelas obtidas através de questionários respondidos por voluntários que concordaram em participar da pesquisa conforme projeto apresentado

e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos. Nesta pesquisa, como mencionado, 215 pessoas responderam ao questionário, porém neste primeiro teste foram utilizadas respostas de 55 indivíduos para verificar o comportamento da rede e não torná-la muito lenta.

Nota-se que com esta quantidade de indivíduos, o *pool* indivíduos será o maior *pool* da rede (com maior número de neurônios) e com neurônios (indivíduos) que possuem características presentes em todos os outros *pools*. Este *pool* foi escolhido, portanto, para gerar o *pool* escondido ou espelho.

Com o valor das quatro notas dos 55 indivíduos estabeleceu-se a quantidade de cada uma das mídias a ser apresentada, conforme definição de uma estratégia pedagógica definida por um especialista, por exemplo, pedagogo, ou qualquer indivíduo que queria estipular uma estratégia de apresentação. Ou seja, a estratégia é aplicada e o que se deseja é que a rede “modele” ou reproduza o mesmo comportamento estabelecido, para novos indivíduos, que não estejam contidos na montagem da rede.

Esta estratégia permite que se possa, por exemplo, privilegiar a assimilação de conteúdo, apresentando a maior quantidade de assuntos do conteúdo com a mídia relacionada à IM mais presente no indivíduo. Pode, também, se outra estratégia for aplicada, fortalecer e treinar as deficiências do indivíduo, apresentando mais assuntos do conteúdo com a mídia relacionada à menor nota de IM obtida. Uma boa maneira de introduzir a estratégia pedagógica pelo especialista é através de exemplos.

Uma outra possibilidade poderia ser a de apresentar as mídias por assunto proporcionalmente às notas de IM obtidas, o que poderia ser implementado através de uma simples fórmula matemática o que implicaria na não necessidade do uso de uma rede neural. Esta solução, porém, retira toda a possibilidade de implementar uma verdadeira estratégia pedagógica. Neste caso, o uso de redes neurais se torna imperativo.

Observa-se, entretanto, que a estratégia matemática (a partir daqui denominada “linear”) para o preenchimento da tabela torna-se bastante interessante para testar os resultados da rede e verificar se esta forneceu resultados corretos, ou seja, se a rede IAC foi bem concebida. Como neste caso (modelo matemático) sabe-se exatamente a resposta que a rede deve fornecer, esta abordagem foi utilizada em todos os testes como forma de validar a rede antes de sua utilização com a estratégia

pedagógica definida pelo especialista (ou por qualquer pessoa).

Para a realização do teste que faz uso de rede neural, foi utilizada uma tabela em Excel, na qual fica estabelecida a relação nota-quantidade de mídias para os 55 indivíduos, de forma a transferir o “conhecimento” desejado para a rede IAC. A seguir, a Tabela 5.21 mostra, para 10 indivíduos, como esse conhecimento é representado.

Tabela 5.21 Dados da relação notas-médias conforme o “conhecimento” desejado.

Ind.	IM1	IM2	IM3	IM4	T	L	D	A
1	3,4	3,9	3,7	3,4	4	7	5	4
2	2,8	2,2	2,7	1,6	7	4	6	3
3	3,0	3,3	3,2	2,7	5	6	6	3
4	3,6	3,4	2,3	2,6	7	6	3	4
5	2,7	2,8	3,7	1,6	4	6	8	2
6	3,5	2,3	3,6	2,9	7	2	8	3
7	3,6	3,2	3,1	2,5	7	5	5	3
8	3,7	2,7	1,7	2,2	8	6	2	4
9	2,1	3,0	3,8	3,6	2	4	8	6
10	2,3	2,9	3,2	2,3	3	6	8	3

A tabela mostra que, segundo estratégia desejada, o indivíduo 1 que obteve nota 3,4 para IM1, terá 4 assuntos do conteúdo apresentados no formato texto. Para a IM2 este indivíduo obteve nota 3,9, então terá 7 assuntos do conteúdo apresentados em lógica (fluxograma). Para a IM3 obteve nota 3,7 implicando em 5 assuntos do conteúdo apresentados em desenho. Finalmente para a IM4 com nota 3,4, corresponderão 4 assuntos do conteúdo apresentados em animação. A tabela completa com os 55 indivíduos pode ser visualizada no Cap.9 (RP/D-IEB-01/2004).

Depois de estabelecida a relação entrada/saída desejada na tabela, estes valores devem ser convertidos em “0” ou “1”, no próprio Excel, pois estes farão parte da matriz de conhecimento da rede IAC. Como mencionado anteriormente, na rede IAC, cada IM possui um *pool* associado, cujos neurônios (31) representam os valores das notas, assim como, cada mídia também possui um *pool* associado, cujos neurônios (17) representam as quantidades destas respectivas mídias. Considerando, portanto, o indivíduo 1 da Tabela 5.21, que obteve a nota de 3,4 para a IM1, esta será convertida em trinta “0s” e um “1” o qual corresponde ao neurônio representativo da nota 3,4 naquele *pool*. Para a quantidade de mídias o procedimento é similar. Portanto, os valores convertidos existentes na tabela Excel são “lidos” pelo programa desenvolvido em MatLab e farão parte da matriz de conhecimento da rede IAC.

Esta matriz representa o conhecimento da rede IAC acerca da estratégica pedagógica adotada. Ou seja, como a rede é bidirecional e, com exceção dos neurônios

do *pool* escondido, todos os outros neurônios podem ser interpretados como entrada ou saída, e qualquer um deles que seja excitado implica, através da mudança do estado da rede, em novos valores de ativação para os outros neurônios.

Com esta configuração de rede, testes foram realizados com ativação de diversos neurônios (com os mesmos e diferentes valores existentes na matriz de conhecimento). Observou-se que ela fornecia resultados satisfatórios apenas quando excitados neurônios (notas de indivíduos) que pertenciam a matriz de conhecimento. Ou seja, somente para as notas definidas na matriz de conhecimento a rede fornecia bons resultados, sendo que para novos indivíduos se mostrou ineficiente.

A Tabela 5.22 apresenta a resposta da rede para ativações pertencentes na matriz de conhecimento da rede IAC com conhecimento não ‘linear’. Observa-se que, na tabela apresentada, os dados em cinza referem-se aos valores desejados e inseridos na matriz de peso. Trede, Lrede, Drede e Arede são as respostas fornecidas pela rede para as mídias texto, lógica, desenho e animação, respectivamente. Os valores em negrito, nas colunas de resposta da rede, são os valores fornecidos diferentes do esperado.

Tabela 5.22 Resposta da rede neural para “conhecimento não linear” para indivíduos pertencentes a matriz de pesos.

Ind.	IM1	IM2	IM3	IM4	T	L	D	A	Trede	Lrede	Drede	Arede
1	3,4	3,9	3,7	3,4	4	7	5	4	4	7	5	4
2	2,8	2,2	2,7	1,6	7	4	6	3	5	8	4	3
3	3,0	3,3	3,2	2,7	5	6	6	3	5	6	6	3
4	3,6	3,4	2,3	2,6	7	6	3	4	7	6	3	4
5	2,7	2,8	3,7	1,6	4	6	8	2	4	6	7	2
6	3,5	2,3	3,6	2,9	7	2	8	3	7	2	8	3
7	3,6	3,2	3,1	2,5	7	5	5	3	7	6	5	2
8	3,7	2,7	1,7	2,2	8	6	2	4	8	6	2	4
9	2,1	3,0	3,8	3,6	2	4	8	6	2	4	8	6
10	2,3	2,9	3,2	2,3	3	6	8	3	3	6	8	3
11	3,5	3,3	3,7	2,8	6	5	7	2	6	5	7	2
12	3,3	3,6	2,6	3,3	5	7	3	5	5	7	3	5
13	3,2	2,1	1,7	1,2	10	5	3	2	10	5	3	2
14	3,4	3,3	3,1	3,1	7	5	4	4	7	5	4	4
15	2,5	2,4	2,2	1,9	7	6	4	3	7	6	4	3
16	3,8	3,5	1,2	1,7	8	7	2	3	8	7	2	3
17	3,4	3,0	3,2	2,1	7	5	6	2	7	5	6	2
18	3,4	3,2	2,2	2,4	7	6	3	4	7	6	4	3
19	3,7	2,5	3,2	2,1	8	4	6	2	8	4	6	2
20	3,3	3,0	2,5	3,2	7	4	3	6	7	4	3	6

A Tabela 5.23 apresenta a resposta da rede para indivíduos não pertencentes a matriz de conhecimento. Neste caso, como pode ser observado, a rede não forneceu

resposta correta.

Tabela 5.23 Resposta da rede neural para “conhecimento não linear” para indivíduos não pertencentes a matriz de pesos.

Ind.	IM1	IM2	IM3	IM4	T	L	D	A	Trede	Lrede	Drede	Arede
1	1,1	2,0	3,4	3,5	2	4	7	7	7	5	6	2
2	3,4	1,1	2,4	3,7	6	2	5	7	4	7	5	4
3	3,0	3,4	1,2	2,0	6	7	3	4	5	6	6	3
4	3,8	2,0	3,0	1,2	8	4	6	2	4	7	7	2
5	2,5	2,8	3,2	1,2	5	6	7	2	8	4	6	2
6	1,0	3,0	2,7	2,0	2	7	6	5	5	8	4	3
7	1,4	3,5	3,4	3,0	2	6	6	5	5	7	4	4
8	2,6	2,5	1,2	3,7	5	5	2	7	8	4	2	3
9	3,2	2,9	3,5	1,3	6	5	6	2	5	5	7	3
10	2,1	3,1	3,6	3,8	3	5	6	6	6	5	7	2

A Tabela 5.24, a seguir, apresenta as respostas para valores de conhecimento “linear” inseridos na rede. Como pode ser percebido, o comportamento se repete, com a rede respondendo na maioria das vezes, satisfatoriamente, para os indivíduos inseridos na matriz de conhecimento e de forma não satisfatória para indivíduos não pertencentes à rede, conforme Tabela 5.25.

Tabela 5.24 Resposta da rede neural para “conhecimento linear” para indivíduos pertencentes a matriz de pesos.

Ind.	IM1	IM2	IM3	IM4	T	L	D	A	Trede	Lrede	Drede	Arede
1	3,4	3,9	3,7	3,4	5	5	5	5	5	5	5	5
2	2,8	2,2	2,7	1,6	6	5	6	3	5	6	5	4
3	3,0	3,3	3,2	2,7	5	5	5	4	5	5	5	4
4	3,6	3,4	2,3	2,6	6	6	4	4	6	5	5	4
5	2,7	2,8	3,7	1,6	5	5	7	3	5	5	6	4
6	3,5	2,3	3,6	2,9	6	4	6	5	6	5	6	5
7	3,6	3,2	3,1	2,5	6	5	5	4	6	5	5	4
8	3,7	2,7	1,7	2,2	7	5	3	4	7	5	3	4
9	2,1	3,0	3,8	3,6	3	5	6	6	3	5	6	6
10	2,3	2,9	3,2	2,3	4	5	6	4	5	5	6	4
11	3,5	3,3	3,7	2,8	5	5	6	4	5	5	6	4
12	3,3	3,6	2,6	3,3	5	6	4	5	5	6	5	5
13	3,2	2,1	1,7	1,2	8	5	4	3	8	5	4	3
14	3,4	3,3	3,1	3,1	5	5	5	5	5	5	5	5
15	2,5	2,4	2,2	1,9	6	5	5	4	6	5	5	4
16	3,8	3,5	1,2	1,7	7	7	2	3	7	7	2	3
17	3,4	3,0	3,2	2,1	6	5	5	4	6	5	4	4
18	3,4	3,2	2,2	2,4	6	6	4	4	6	5	5	4
19	3,7	2,5	3,2	2,1	6	4	6	4	6	5	6	4
20	3,3	3,0	2,5	3,2	6	5	4	5	6	5	4	4

Tabela 5.25 Resposta da rede neural para “conhecimento linear” para indivíduos pertencentes a matriz de pesos.

Ind.	IM1	IM2	IM3	IM4	T	L	D	A	Trede	Lrede	Drede	Arede
1	2,3	2,7	1,6	3,1	5	6	3	6	5	5	6	4
2	2	3	1,5	3,5	4	6	3	7	6	5	5	4
3	4	2	1	1,5	9	5	2	4	10	3	3	3
4	2,7	2,6	2,9	3,8	5	4	5	6	6	5	5	4
5	3,6	2,8	1,9	3,1	6	5	3	5	6	5	5	4
6	2,5	3	3,5	1,8	5	6	6	3	6	5	5	4
7	2,7	2,2	3,1	3,4	5	4	5	6	5	5	5	5
8	2,9	2,8	3,3	3,8	5	4	5	6	6	5	5	4
9	2,1	3,1	1,1	3,6	4	6	2	7	6	5	5	4
10	3,3	2,9	2	3,2	6	5	4	6	6	5	4	5
11	3,8	1,6	1,8	2,2	8	3	4	5	6	6	5	4
12	3,9	3,2	2,8	2,4	6	5	5	4	6	5	5	4
13	2,3	2,8	3,6	3,8	4	4	6	6	6	5	6	4
14	1,5	1,9	2,4	3	3	4	5	7	5	5	5	4
15	3,2	2,6	3,4	2,5	5	4	6	4	6	5	5	4
16	2,8	3,1	3,4	3,8	4	5	5	6	5	6	5	4
17	2,7	2,7	3,1	3,3	5	5	5	6	5	5	5	5
18	1,2	2,9	3,7	3,3	2	5	7	6	5	5	6	4
19	2,7	2,2	3,4	3,6	5	4	6	6	4	6	5	4

Como a rede não se comportou como esperado (fornecer respostas adequadas para indivíduos representados e não representados na matriz conhecimento – generalização), novos testes foram realizados para que se encontrasse uma boa configuração de rede para este problema.

Uma nova tentativa foi aumentar o número de indivíduos para 90, sem perder de vista a preocupação com o tempo de processamento da rede. Da mesma forma que o teste anterior, esta nova configuração apresentou bons resultados para os indivíduos pertencentes à matriz de conhecimento e resultados não satisfatórios para novos indivíduos. Estes resultados podem ser encontrados no Cap.9 (RP/D-IEB-01/2004).

Novamente um novo teste foi realizado, desta vez com 256 indivíduos. Esta quantidade de indivíduos foi escolhida para abranger um “universo” maior de possibilidades buscando, desta forma, uma maior representatividade. Para que isto pudesse ocorrer e as notas não ficassem muito parecidas, como pode ser observado no resultado dos testes com voluntários, elas foram cuidadosamente escolhidas de forma a melhor representar o espaço de possibilidades.

Como as notas das IM variam de 1 até 4, para cada IM, considerando-se somente os valores inteiros (incremento de 1), se todas as notas forem ativadas pelo menos uma vez, o total de possibilidades é de 256 indivíduos (4 x 4 x 4 x 4). Os valores estão apresentados no Cap.9 (RP/D-IEB-01/2004).

Com esta quantidade de neurônios (indivíduos) não foi possível obter nenhum

resultado pois a rede não estabilizou como pode ser observado na Figura 5.25.

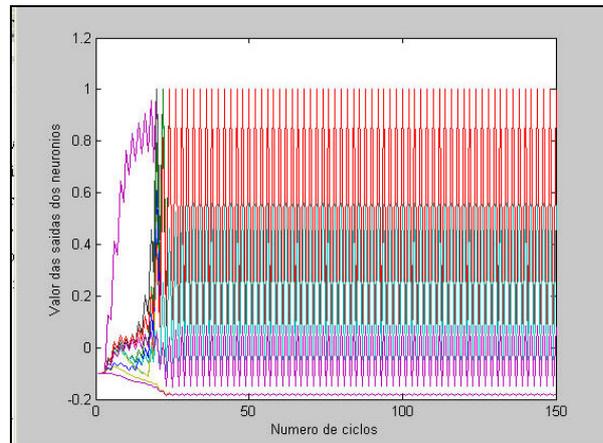


Figura 5.25 Gráfico da rede IAC com matriz contendo 256 indivíduos executada com 150 ciclos.

Concluiu-se, portanto, que deveria ser implementada uma rede com menor quantidade de neurônios. Diminuir, porém, a quantidade de neurônios nos *pools* referentes às notas das Inteligências Múltiplas (31 neurônios) não poderia ser realizado porque se perderia uma variação importante nos valores das notas. A única alternativa, portanto, é diminuir novamente a quantidade de indivíduos.

Os testes realizados até o momento demonstraram que a rede, com poucos indivíduos, apresentava respostas adequadas apenas para os indivíduos presentes na matriz de conhecimento e o desejado seria que a rede pudesse generalizar o “conhecimento” fornecido para qualquer novo indivíduo não presente na matriz de conhecimento.

Concluiu-se que a rede não poderia fazer associações adequadas, caso não fosse inserido na matriz, “conhecimento” referente a todos os neurônios presentes na rede, que poderiam ser utilizados como entrada de dados a ser excitados. Observa-se que, no primeiro momento, os neurônios que são excitados e utilizados como entrada são os neurônios referentes às notas das IM dos usuários. Caso um neurônio referente a uma determinada nota tiver sido excitado, e o “conhecimento” sobre esta determinada nota não está inserido na matriz de conhecimento, a rede não poderia fornecer respostas adequadas pois ela “trabalha” através de associação e não há possibilidade de se fazer associação de algo jamais “visto” ou “memorizado”.

Desta forma surgiu a idéia de montar uma rede em que os indivíduos inseridos nela possuíssem notas de IM que representassem valores nos quais, pelo menos uma vez, um neurônio de cada *pool* das IMs fosse excitado. Foram gerados, então,

randomicamente valores de 31 notas, variando de 1 a 4 com incremento de 0,1. Estes valores randômicos foram gerados quatro vezes, um para cada IM. Seriam, portanto, representados 31 indivíduos e determinadas a relação nota/quantidade conforme critério ou estratégia adotada. Uma representação, pode ser observada na Tabela 5.26 e as variações das notas dos 31 indivíduos na Figura 5.26.

Tabela 5.26 Relação entrada/saída (nota/quantidade de mídias) para 31 indivíduos, conforme “conhecimento” ou estratégica para a aplicação da Teoria das Inteligências Múltiplas. Cada neurônio de cada *pool* referente à nota de uma IM está sendo excitado uma vez.

Ind.	IM1	IM2	IM3	IM4	T	L	D	A
1	3,3	2,0	3,9	4,0	5	2	6	7
2	4,0	3,3	3,8	3,6	7	3	6	4
3	1,7	2,8	3,2	3,4	2	4	6	8
4	3,0	2,9	3,5	1,5	6	4	8	2
5	3,4	1,7	3,4	1,0	8	3	8	1
6	2,4	3,1	1,5	2,7	4	8	2	6
7	3,6	2,7	1,9	2,2	8	6	2	4
8	3,9	3,5	1,6	1,3	10	7	2	1
9	3,5	2,2	1,4	1,1	12	5	2	1
10	1,1	1,4	2,2	3,8	1	2	4	13
11	3,8	2,6	2,5	2,0	8	5	4	3
12	3,1	1,1	3,0	2,8	8	1	6	5
13	2,5	1,3	1,7	3,7	5	2	3	10
14	2,8	3,9	2,4	2,3	5	8	4	3
15	1,9	2,4	2,1	2,1	3	7	5	5
16	1,6	1,6	2,7	3,1	3	3	6	8
17	1,3	3,2	2,6	1,4	2	9	6	3
18	3,7	3,8	1,3	1,9	6	8	2	4
19	1,2	1,8	2,6	2,5	2	4	8	6
20	2,0	2,1	2,3	3,2	3	4	5	8
21	2,3	3,0	1,8	2,3	5	7	3	5
22	1,5	3,4	3,7	1,7	2	6	9	3
23	2,1	2,5	2,8	3,5	3	4	5	8
24	3,2	1,0	1,2	2,6	12	1	2	5
25	1,8	2,3	1,0	1,2	6	10	1	3
26	1,4	1,9	2,0	3,0	2	4	5	9
27	2,9	1,5	3,6	2,4	5	2	9	4
28	2,7	3,7	3,1	2,9	3	8	5	4
29	2,2	3,6	4,0	3,3	2	6	8	4
30	2,6	4,0	2,9	3,9	3	7	4	6
31	1,0	1,2	3,3	1,6	1	2	14	3

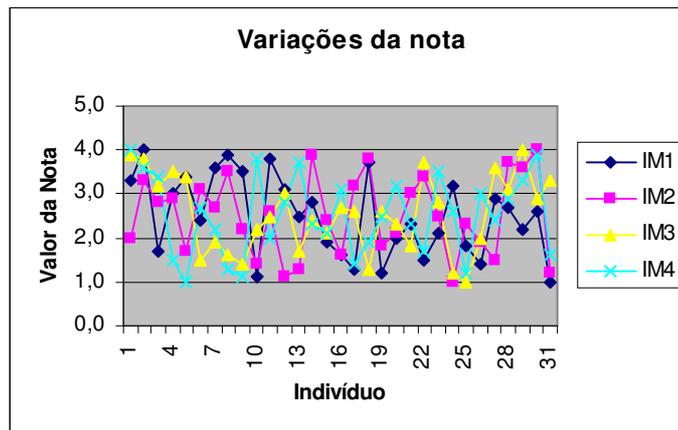


Figura 5.26 Variações das notas dos 31 indivíduos.

Após realização de testes com os 31 indivíduos verificou-se que a rede, da mesma forma que os testes anteriores, fornecia respostas sem erros para os indivíduos pertencentes à rede e não apresentava bons resultados para novos indivíduos. Observa-se, entretanto, que nos testes anteriores a taxa de acerto era de praticamente 0% e neste, em alguns casos, a rede acertava. Alguns resultados dos testes podem ser visualizados no Cap.9 (RP/D-IEB-01/2004).

Novamente aumentou-se o número de indivíduos. Ou seja, com o intuito de melhor representar o “universo de possibilidades” (Figura 5.26) e, conseqüentemente, melhorar o desempenho da rede a proposta foi gerar, para cada IM, quatro números aleatórios para cada incremento de 0,1 no intervalo de 1 a 4 (ao invés de um único, como no teste anterior). Ou seja, com esta proposta são  $31 \times 4 = 124$  indivíduos na rede IAC, conforme Figura 5.27. Novos testes foram realizados e, alguns resultados podem ser visualizados no Cap.9 (RP/D-IEB-01/2004). Observa-se que houve mais acertos que nos testes anteriores, mas ainda com um erro grande (em torno de 90% se considerarmos o resultado das quatro IMs, simultaneamente), não atendendo os requisitos de projeto.

Nesta rede, se considerarmos todas as ativações possíveis das notas de entrada (neurônios notas) das IMs (a multiplicação da quantidade de neurônios de cada *pool* nota –  $31 \times 31 \times 31 \times 31$ ), isto representa 923.521 possibilidades. Os 124 indivíduos representam apenas 0,013% do total de possibilidades. Ficando, portanto, difícil de fornecer respostas corretas para os indivíduos não “apresentados” para a rede através de associação.

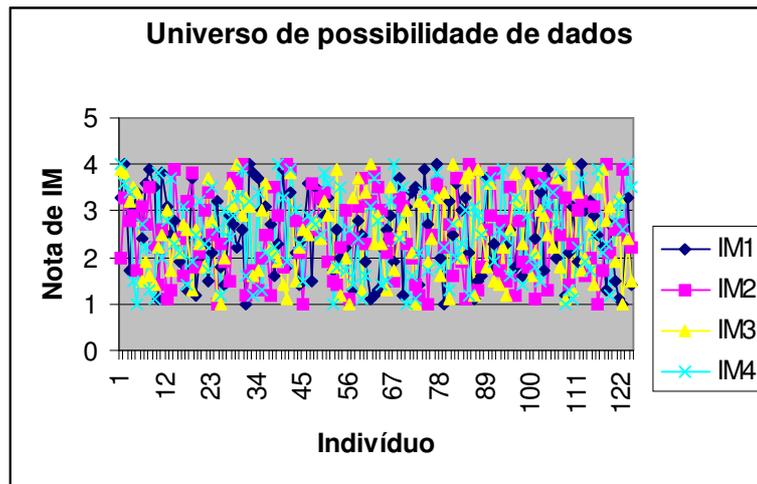


Figura 5.27 Variações das notas para 124 indivíduos.

Na realidade, este já era um resultado esperado (falta de generalização) posto que a IAC, como memória associativa, não apresenta esta propriedade. No entanto, esta rede apresentava todas as outras propriedades necessárias para implementar este mecanismo de adaptação. Por conseguinte, partiu-se do pressuposto que uma outra propriedade sua (recuperação da informação total a partir da informação parcial) pudesse, de certa forma, resolver o inconveniente da falta de generalização o que, infelizmente, não ocorreu.

O ideal, portanto, seria encontrar uma rede que pudesse generalizar o conhecimento (estratégia pedagógica) estabelecido pelo especialista, para qualquer novo indivíduo, que pudesse ser excitada tanto pelas notas de IMs como pelas quantidades (bidirecionalidade), sem um número fixo de neurônios a ser excitado, apresentando boas respostas para novas iterações e que aproveitasse a resposta obtida anteriormente (memória).

Observando-se que a rede neural do tipo MLP tem como objetivo refletir o comportamento do especialista de domínio, possibilitando a obtenção da generalização desejada, e que a rede IAC apresenta as características de memória associativa do conhecimento estabelecido nela, possibilitando que qualquer neurônio seja entrada, que não há quantidade fixa de neurônios a ser excitado e que apresenta memória das interações anteriores, propõe-se a seguir um sistema em que as duas redes funcionem complementarmente permitindo, portanto, o aproveitamento das características desejáveis de ambas. Este sistema se constitui no módulo gerador de adaptação que é responsável pela adaptatividade e adaptabilidade do sistema.

Desta forma, primeiro, uma MLP, responsável pela adaptatividade, define automaticamente a quantidade de cada mídia que será apresentada. Segundo, uma rede IAC, responsável pela adaptabilidade, modifica, eventualmente, a quantidade de mídias a serem apresentadas, de acordo com as novas preferências do usuário modificando, em seguida, o perfil do usuário.

Observa-se que esta capacidade de adaptabilidade é, também, responsável pela não necessidade de precisão na determinação inicial do perfil do usuário em função de suas IMs, determinado no módulo do usuário, através de preenchimento do teste de múltiplas escolhas. Explicando melhor, se o resultado do teste de determinação do perfil do usuário (aquele constituído pelas perguntas resultantes do processo de redução de dimensionalidade aplica ao teste de Celso Antunes) apresentar imprecisão o erro será corrigido nas primeiras iterações.

Para a rede neural do tipo MLP refletir o conhecimento do especialista de domínio, esta é treinada através de exemplos. Os exemplos são fornecidos com o preenchimento de uma tabela com 124 indivíduos hipotéticos, na qual especifica-se a quantidade de mídias que deve ser apresentada segundo a nota de cada IM. Portanto, através deste conjunto de indivíduos com relação entrada/saída (nota/quantidade de mídias) desejada, a rede neural MLP é treinada.

Conseqüentemente, quando um novo indivíduo utiliza o sistema adaptativo e suas notas de IMs são obtidas (no módulo do usuário), o sistema determina, através da rede neural MLP, a quantidade que cada mídia deverá ser apresentada, da mesma forma que o especialista faria.

As notas dos 124 indivíduos hipotéticos, utilizadas na tabela, são geradas da mesma forma que na abordagem anterior devido ao fato de serem utilizadas posteriormente na rede IAC.

Como foi evidenciado nos testes anteriores, realizados com a rede IAC, esta quantidade de indivíduos (124), que possibilita que cada neurônio seja excitado pelo menos quatro vezes em cada grupo de IM, possibilita refletir, de maneira satisfatória, o conhecimento do especialista, que é determinado na matriz de conhecimento.

Testes foram realizados para verificar a melhor configuração da rede MLP para este problema específico. Os parâmetros selecionados que apresentaram melhor resultado são descritos a seguir:

- Número de camadas: 3 totalmente conectadas, sendo uma camada de entrada, uma intermediária e uma de saída.
- Número de neurônios da camada de entrada: normalmente, o número de neurônios na entrada corresponde ao número de variáveis de entrada do processo a ser modelado. Nesta rede serão quatro neurônios na camada de entrada, cada neurônio correspondendo a uma nota de uma IM.
- Número de neurônios na camada intermediária: Nesta etapa do trabalho utilizaram-se 124 exemplos, pois o especialista preenche uma tabela com as notas das quatro IM consideradas de 124 indivíduos hipotéticos, estabelecendo como saída a quantidade de mídias por IM a ser apresentada. Considerando que serão utilizados os 124 indivíduos no treinamento, esta rede dever ter, aproximadamente, 62 pesos, conforme a heurística proposta por Kuri (2003). Portanto, a rede utilizada possui 64 pesos e 8 neurônios na camada intermediária.
- Função de ativação: logística sigmoideal tanto na camada escondida como na de saída.
- Neurônios de *bias*: todos iguais a 1.
- Algoritmo de treinamento: retropropagação com momento.
- Ordem de apresentação dos exemplos: aleatória.
- Modo de treinamento: seqüencial (por época ou lote)
- Taxa de aprendizagem ( $\bullet$ ): o valor é estabelecido conforme o número de neurônios na camada precedente, segundo heurística apresentada por Kuri (2003). Nesta rede, utilizou-se o  $\bullet$  na camada oculta com valor igual 0,05 e na camada de saída com valor igual a 0,025.
- Constante de momento: 0,7.
- Inicialização dos pesos: aleatória entre -0,1 e 0,1.
- Parada de treinamento: 3000 épocas, pois o valor do erro no treinamento pôde ser considerado estável.

Os resultados obtidos na rede podem ser observados no Cap.10 (RP/D-IEB-01/2004).

Na utilização de uma rede MLP, o intuito é se obter o “conhecimento” do especialista e reproduzir este “conhecimento” para qualquer novo indivíduo (generalizar o conhecimento), e neste caso, na verdade, a rede está obtendo uma

“função de aproximação” dos valores fornecidos.

Para se obter esta generalização, a rede deve ser determinada com uma arquitetura com um número de neurônios na camada intermediária suficiente para uma boa solução. Pois, ao utilizar-se de neurônios demais, a rede pode memorizar os padrões de treinamento, em vez de extrair as características gerais que permitirão a generalização de indivíduos não vistos no treinamento (este problema, normalmente, é chamado de *overfitting*). Ao se utilizar um número muito pequeno, pode-se ter problemas de aprendizado, ou seja, alguns padrões são aprendidos, outros não.

Devido a este fato, foram realizados testes, como foi mencionado anteriormente, com o intuito de se obter um número de neurônios na camada intermediária que pudesse generalizar o conhecimento do especialista e apresentasse uma boa solução. Como pode ser observado nos resultados apresentados no Cap.10 (RP/D-IEB-01/2004), a rede fornece resultados satisfatórios para indivíduos não utilizados no treinamento, apesar de que, normalmente, a resposta não é idêntica para os indivíduos utilizados no treinamento. Isto acontece porque a rede faz a correção dos “erros” (ruídos) fornecidos pelo especialista, através da “função de aproximação” obtida. Ou seja, quando um especialista fornece “conhecimento” através de exemplos, neste caso, preenchimento de uma tabela com 124 indivíduos hipotéticos, ele poderá fornecer este “conhecimento” com “erros” (ruídos). Isto porque ao preencher a relação valor da nota de cada IM/quantidades de mídias, o especialista poderá implementar estes valores com pequenas diferenças que não atendam a uma “graduação exata” de implementação, apesar da pretensão do especialista ser estabelecer uma “lógica pedagógica”.

Para se obter uma resposta com valor idêntico ao fornecido no treinamento, deveriam ser aumentadas as quantidades de neurônios na camada intermediária. Desta forma a rede iria “decorar” as respostas, fornecendo resultados excelentes (acertos praticamente de 100%) para os indivíduos utilizados no treinamento, porém respostas insatisfatórias (erros com porcentagens altas) para novos indivíduos. O teste foi realizado, confirmando a suposição.

Nota-se ainda que, quando se trata de uma função “linear”, ou seja, ao simular (testar) a implementação do conhecimento de forma linear (aplicando uma função matemática nas relações notas IM/quantidades de mídias) para solução do problema, não há “erros (ruídos)” presentes nas relações e, portanto, a “função de aproximação”

representa razoavelmente bem a função implementada, e a resposta da rede é praticamente a mesma (idêntica) aos resultados utilizados no treinamento. Da mesma forma que, a resposta para novos indivíduos é bastante satisfatória, confirmando, portanto, que a rede procura apresentar a melhor solução. Os resultados destes testes também podem ser obtidos no Cap.10 (RP/D-IEB-01/2004).

Com esta configuração de rede treinada é possível obter resultados de novos indivíduos. E desta forma, como mencionado anteriormente, a rede MLP será utilizada para fornecer dados para se realizar a adaptatividade do sistema aos usuários.

A tabela com os 124 indivíduos hipotéticos, gerada pela rede MLP e acrescida dos valores para o novo indivíduo que está utilizando o site, é convertida em números “zeros” e “uns” de forma a este conhecimento ser representado na matriz conhecimento da rede neural do tipo IAC (como nesta rede não há treinamento, o conhecimento é estabelecido através do preenchimento desta matriz). Com a inclusão do novo usuário na matriz de peso, assegura-se o conhecimento, sobre este indivíduo, na matriz de conhecimento.

A rede IAC, responsável pela adaptabilidade do sistema, modifica, eventualmente, a quantidade de assuntos por mídia a ser apresentada, de acordo com as novas preferências do usuário, ou seja, adaptando o sistema ao novo perfil do usuário.

Portanto, se o usuário preferir visualizar o assunto em uma mídia diferente da sugerida pelo sistema (procedimento que será melhor explicado no módulo interface), a tela se modifica para a nova mídia escolhida. Processamento ocorre, então, na rede IAC e todas as mídias dos próximos assuntos poderão ser mudadas.

Quando a rede IAC atua, sempre, somente dois neurônios são ativados, um neurônio refere-se ao grupo da mídia escolhida (com valor acrescido de uma unidade, ao neurônio original) e o outro neurônio refere-se ao grupo do neurônio da mídia rejeitada (com valor decrescido de uma unidade ao neurônio original). Por exemplo, se a condição original do usuário são as seguintes mídias: 4 para texto, 6 para lógica, 3 para desenho e 7 para animação e o usuário, ao interagir com o sistema, rejeita uma mídia animação e escolhe texto, então, a rede IAC processa essas informações e o neurônio 6 (ou seja,  $7 - 1$ ) do grupo animação, juntamente, com o neurônio 5 do grupo texto (ou seja,  $4 + 1$ ), serão ativados.

Todavia, tais modificações não ocorrem nos assuntos já visitados anteriormente e que não foram requisitadas modificações, mantendo-se, portanto, as mídias de apresentação, destes, em futuras consultas.

A arquitetura da rede IAC implementada (conforme Figura 5.28) é aquela do último teste de definição de topologia, e apresenta, portanto, um total de 10 *pools*:

- Quatro correspondendo as 4 IMs utilizadas (Inteligências Linguístico-verbal, Visual-espacial, Lógico-matemática e Cinestésico-corporal), cada um desses *pools* possuindo 31 neurônios, que representam uma nota variando de 1 a 4 com incremento de 0,1.
- Quatro representando as quatro mídias consideradas (texto, desenho, fluxograma e animação), cada *pool* possuindo 17 neurônios, os quais se referem à mídia a ser apresentada. Portanto, cada neurônio representa uma quantidade de mídia.
- Um representando os indivíduos (a tabela com os 124 hipotéticos utilizados na rede MLP e um novo indivíduo que é o usuário do site).
- Um representando o *pool* escondido, que é um espelho do *pool* de indivíduos possuindo também 125 neurônios.

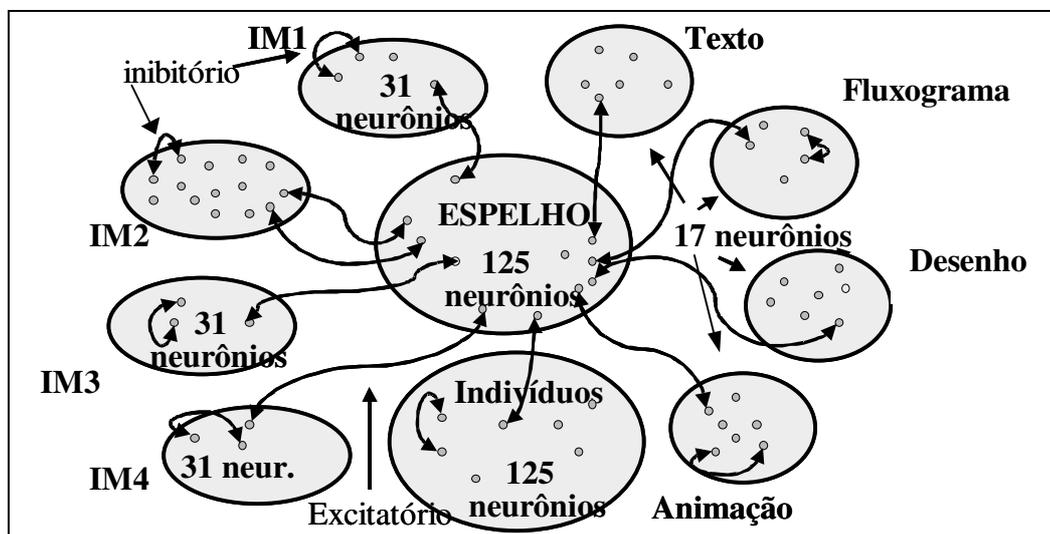


Figura 5.28 Representação da topologia da rede neural do tipo IAC, utilizada para a adaptabilidade do sistema.

O processo é sumarizado na Figura 5.29.

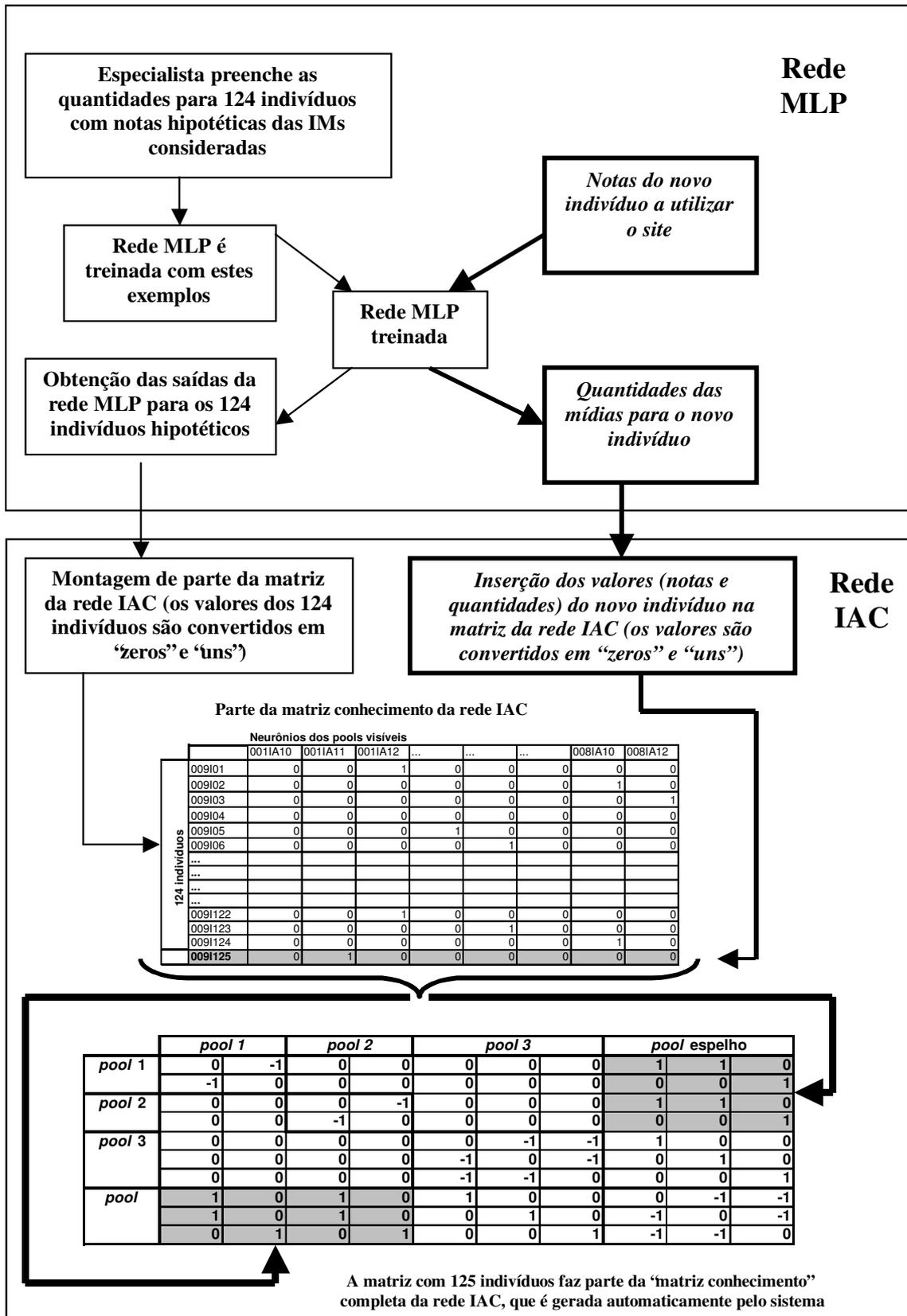


Figura 5.29 Representação do funcionamento conjunto da rede MLP e rede IAC para realização da adaptação no sistema.

### 5.2.1 Resultados Obtidos e Discussões

Com a definição das redes que serão utilizadas e com suas arquiteturas e parâmetros especificados foram realizados testes para verificar a validade da proposição. Na realização dos testes foram utilizados o *software Data Engine* e o programa para IAC, desenvolvido no MatLab.

Foram geradas notas de novos indivíduos, cada um representando um novo usuário do sistema e, utilizando-se a rede MLP após treinamento foram geradas as suas respectivas quantidades de mídias a serem apresentadas. O resultado individual gerado pela rede MLP é inserido na matriz da rede IAC (indivíduo 125). E, para cada um destes novos indivíduos hipotéticos gerados, são realizadas simulações de ações por parte dele, como se ele estivesse utilizando o sistema.

Com o intuito de comprovar o resultado esperado, situações repetitivas são simuladas, podendo, desta forma, melhor caracterizar o comportamento do indivíduo e da rede. Ou seja, conforme a Tabela 5.27, são descritas as ações repetitivas simuladas e verifica-se se a rede fornece o resultado desejado conforme o comportamento especificado.

Por exemplo, suponha um indivíduo utilizando o sistema. Suas notas são processadas pela rede MLP fornecendo as quantidades das mídias a serem apresentadas. Estes valores são convertidos em “zeros” e “uns” e são agregados à matriz de conhecimento IAC definindo a quantidade de mídias para este indivíduo. Supondo que o usuário mude a mídia sempre para texto, quando esta não é assim apresentada, a rede deve ir aumentando a quantidade de texto e diminuindo as demais mídias (resultado do comportamento desejado da rede). Caso a rede se comporte desta maneira o resultado é satisfatório, pois representa o comportamento desejado, validando o mecanismo de adaptação e adaptabilidade. No total foram realizados 65 testes em 10 indivíduos. Para os indivíduos 1, 2, 3 e 4, foram realizados 12 testes cada; para o indivíduo 5, 9 testes; para o indivíduo 6, 4 testes e um teste para os indivíduos 7, 8, 9 e 10, conforme Tabela 5.27.

Tabela 5.27 Proposição de simulação de ações repetitivas por parte de novos usuários do sistema e resultado esperado da rede.

Teste	Indivíduos	Ações com a Mídia Texto	Ações com a Mídia Fluxograma	Ações com a Mídia Desenho	Ações com a Mídia Animação	Comportamento esperado das respostas da rede
A	1, 2, 3, 4, 5	Sempre aumentando $\uparrow T$	Sempre diminuindo $\downarrow F$			As quantidades da mídia texto devem ir aumentando e as quantidades da mídia fluxograma devem ir diminuindo $T \uparrow e \downarrow F$
B	1, 2, 3, 4, 5	$\uparrow T$		$\downarrow D$		$T \uparrow e D \downarrow$
C	1, 2, 3, 4, 5	$\uparrow T$			$\downarrow A$	$T \uparrow e A \downarrow$
D	1, 2, 3, 4	$\downarrow T$	$\uparrow F$			$\downarrow T e \uparrow F$
E	1, 2, 3, 4, 5		$\uparrow F$	$\downarrow D$		$\uparrow F e \downarrow D$
F	1, 2, 3, 4, 5		$\uparrow F$		$\downarrow A$	$\uparrow F e \downarrow A$
G	1, 2, 3, 4	$\downarrow T$		$\uparrow D$		$\downarrow T e \uparrow D$
H	1, 2, 3, 4		$\downarrow F$	$\uparrow D$		$\downarrow F e \uparrow D$
I	1, 2, 3, 4, 5			$\uparrow D$	$\downarrow A$	$\uparrow D e \downarrow A$
J	1, 2, 3, 4	$\downarrow T$			$\uparrow A$	$\downarrow T e \uparrow A$
K	1, 2, 3, 4, 5		$\downarrow F$		$\uparrow A$	$\downarrow F e \uparrow A$
L	1, 2, 3, 4, 5			$\downarrow D$	$\uparrow A$	$\downarrow D e \uparrow A$
M	6, 7	$\uparrow T$	$\downarrow F^*$	$\downarrow D^*$	$\downarrow A^*$	$\uparrow T$ e diminui as outras mídias
N	6, 8	$\downarrow T^*$	$\uparrow F$	$\downarrow D^*$	$\downarrow A^*$	$\uparrow F$ e diminui as outras mídias
O	6, 9	$\downarrow T^*$	$\downarrow F^*$	$\uparrow D$	$\downarrow A^*$	$\uparrow D$ e diminui as outras mídias
P	6, 10	$\uparrow T^*$	$\downarrow F^*$	$\downarrow D^*$	$\uparrow A$	$\uparrow A$ e diminui as outras mídias

\* Em cada iteração uma das três mídias marcadas são diminuídas alternadamente.

A seguir serão apresentados e analisados os testes realizados com os indivíduos 1, 7, 8, 9 e 10, os demais testes com outros indivíduos (2, 3, 4 e 5) são apresentados no Cap.11 (RP/D-IEB-01/2004). Na Tabela 5.28 são apresentados os testes 1/A, 2/B e 3/C do indivíduo 1. As letras representam as ações simuladas nos testes, conforme descrito na Tabela 5.27.

Tabela 5.28 Testes 1/A, 2/B e 3/C com mudança de média do indivíduo 1.

	Indivíduo 1 - teste 1/A				Indivíduo 1 - teste 2/B				Indivíduo 1 - teste 3/C			
	T	L	D	A	T	L	D	A	T	L	D	A
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Notas do novo usuário	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade gerada rede MLP	5	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Valores iniciais rede IAC	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade gerada rede IAC	5	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Mudança do usuário	6	7			6	4			6			1
Resposta nota rede IAC	2,9	3,1	1,4	2,5	2,6	3,1	2,4	1,5	3	2,9	3,5	1,5
Resposta quantidade	6	7	1	5	6	8	4	2	6	5	7	1
Quantidade rede MLP	6	7	1	5	5	8	5	2	6	5	7	1
Mudança do usuário	7	6			7		3					
Resposta nota rede IAC	4	3,2	1,7	3,7	2,6	3,1	2,4	1,5				
Resposta quantidade	7	6	1	6	7	8	3	2				
Quantidade rede MLP	7	6	1	6	5	8	5	2				
Mudança do usuário	8	5			8		2					
Resposta nota rede IAC	4	3,2	1,7	3,7	3,9	3,5	1,6	1,3				
Resposta quantidade	8	5	1	6	8	8	2	2				
Quantidade rede MLP	7	6	1	6	9	8	2	2				
Mudança do usuário	9	4			9		1					
Resposta nota rede IAC	4	3,2	1,7	3,7	3,9	3,5	1,6	1,3				
Resposta quantidade	9	4	1	6	9	8	1	2				
Quantidade rede MLP	7	6	1	6	9	8	2	2				
Mudança do usuário	10	3										
Resposta nota rede IAC	4	3,2	1,7	3,7								
Resposta quantidade	10	3	1	6								
Quantidade rede MLP	7	6	1	6								
Mudança do usuário	11	2										
Resposta nota rede IAC	3,7	1,3	1,7	3,7								
Resposta quantidade	11	2	3	7								
Quantidade rede MLP	9	2	3	7								
Mudança do usuário	12	1										
Resposta nota rede IAC	3,7	1,3	1,7	3,4								
Resposta quantidade	12	1	3	7								
Quantidade rede MLP	9	2	3	7								

Em todas as tabelas dos testes realizados, os dados são apresentados da seguinte forma: a primeira linha apresenta as notas do usuário, a segunda linha apresenta as quantidades de médias geradas pela rede MLP a serem apresentadas (T – texto, L – lógica, D – desenho e A animação), a terceira linha apresenta os valores dos neurônios a serem ativados na rede IAC (valores iniciais da rede IAC). A rede IAC, ao ser processada, fornece como resposta a quantidade de médias a ser apresentada, na quarta linha. As linhas seguintes apresentam as ações simuladas do usuário (mudança do usuário), apresentando os novos valores de ativação dos neurônios, referentes às quantidades recusada e escolhida estando, portanto, sempre dois neurônios ativados. Aparece em seguida, a resposta da nota e as novas quantidades geradas pela IAC. Estes passos são realizados sucessivamente, até se obter o valor mínimo possível (uma quantidade) da média que está sempre sendo recusada.

Na Tabela 5.29 são apresentados os testes 4/D, 5/E, 6/F.

Tabela 5.29 Testes 4/D, 5/E e 6/F com mudança de média.

	Indivíduo 1 - teste 4/D				Indivíduo 1 - teste 5/E				Indivíduo 1 - teste 6/F			
	T	L	D	A	T	L	D	A	T	L	D	A
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Notas do novo usuário	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade gerada pela MLP	5	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Valores iniciais IAC	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade rede IAC	5	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Mudança do usuário	4	9				9	4			9		1
Resposta nota rede IAC	2,6	3,1	2,4	1,5	1,6	3,5	2,1	2,2	2,6	3,1	2,4	1,5
Resposta quantidade	4	9	5	2	2	9	4	4	5	9	5	1
Mudança do usuário	3	10				10	3					
Resposta nota rede IAC	2,6	3,1	2,4	1,5	2	3,4	1,6	1,8				
Resposta quantidade	3	10	5	2	3	10	3	4				
Mudança do usuário	2	11				11	2					
Resposta nota rede IAC	2,6	3,1	2,4	1,5	2	3,4	1,6	1,8				
Resposta quantidade	2	11	5	2	3	11	2	4				
Mudança do usuário	1	12				12	1					
Resposta nota rede IAC	2,6	3,1	2,4	1,5	2	3,4	1,6	1,8				
Resposta quantidade	1	12	5	2	3	12	1	4				

A Tabela 5.30 apresenta os testes 7/G, 8/H e 9/I.

Tabela 5.30 Testes 7/G, 8/H e 9/I com mudança de média do indivíduo 1.

	Indivíduo 1 - teste 7/G				Indivíduo 1 - teste 8/H				Indivíduo 1 - teste 9/I			
	T	L	D	A	T	L	D	A	T	L	D	A
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Notas do novo usuário	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade gerada pela MLP	5	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Valores iniciais IAC	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade rede IAC	5	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Mudança do usuário	4		6			7	6				6	1
Resposta nota rede IAC	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Resposta quantidade	4	8	6	2	5	7	6	2	5	8	6	1
Mudança do usuário	3		7			6	7					
Resposta nota rede IAC	1,6	1,8	2,6	2,5	2,6	3,1	2,4	1,5				
Resposta quantidade	3	3	7	7	5	6	7	2				
Mudança do usuário	2		8			5	8					
Resposta nota rede IAC	1,6	1,8	2,6	2,5	2,6	3,1	2,4	1,5				
Resposta quantidade	2	3	8	8	5	5	8	2				
Mudança do usuário	1		9			4	9					
Resposta nota rede IAC	1,6	1,8	2,6	2,5	1,9	2,3	3,4	1,6				
Resposta quantidade	1	3	9	7	3	4	9	3				
Mudança do usuário						3	10					
Resposta nota rede IAC					1,9	3	3,4	2,2				
Resposta quantidade					3	3	10	3				
Mudança do usuário						2	11					
Resposta nota rede IAC					2,2	1,7	3,9	2,1				
Resposta quantidade					4	2	11	3				
Mudança do usuário						1	12					
Resposta nota rede IAC					2,2	1,7	3,9	2,1				
Resposta quantidade					4	1	12	3				

A Tabela 5.31 apresenta os testes 10/J, 11/L e 12/L.

Tabela 5.31 Testes 10/J, 11/K e 12/L com mudança de média do indivíduo 1.

	Indivíduo 1 - teste 10/J				Indivíduo 1 - teste 11/K				Indivíduo 1 - teste 12/L			
	T	L	D	A	T	L	D	A	T	L	D	A
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Notas do novo usuário	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade gerada pela MLP	5	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Valores iniciais IAC	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade rede IAC	5	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Mudança do usuário	4			3		7		3			4	3
Resposta nota rede IAC	2,2	3	2,3	1,4	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Resposta quantidade	4	8	4	3	5	7	5	3	5	8	4	3
Mudança do usuário	3			4		6		4			3	4
Resposta nota rede IAC	2,7	3,7	3,1	2,9	2,6	3,1	2,4	1,5	3,2	3,3	2,4	2,5
Resposta quantidade	3	7	4	4	5	6	5	4	6	7	3	4
Mudança do usuário	2			5		5		5			2	5
Resposta nota rede IAC	1,5	3,6	2,7	2,8	2,6	3,1	2,4	1,5	3,9	3,1	1,4	2,5
Resposta quantidade	2	9	5	5	5	5	5	5	6	7	2	5
Mudança do usuário	1			6		4		6			1	6
Resposta nota rede IAC	1,2	3,2	4	3,1	2,6	3,1	2,4	1,5	3,5	3,6	2,2	3,4
Resposta quantidade	1	5	9	6	5	4	5	6	6	7	1	6
Mudança do usuário						3		7				
Resposta nota rede IAC					1,6	1,8	2,6	2,5				
Resposta quantidade					2	3	7	7				
Mudança do usuário						2		8				
Resposta nota rede IAC					1,6	1,8	2,6	2,5				
Resposta quantidade					2	2	7	8				
Mudança do usuário						1		9				
Resposta nota rede IAC					1,6	1,8	2,6	2,5				
Resposta quantidade					2	1	7	9				

Para uma melhor visualização do comportamento das quantidades geradas com as alterações do usuário, alguns dados apresentados nas tabelas anteriores serão mostrados através de tabelas resumidas e gráficos. As análises dos resultados obtidos serão realizadas após a apresentação dos gráficos e tabelas de cada teste. Nos gráficos o eixo *x* refere-se às quantidades de iterações realizadas e o eixo *y* refere-se às quantidades resultantes de cada média.

Tabela 5.32 Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 1/A – indivíduo 1.

Iterações	Indivíduo 1 - teste 1/A				Quantidade Total
	T	L	D	A	
1	5	8	5	2	20
2	6	7	1	5	19
3	7	6	1	6	20
4	8	5	1	6	20
5	9	4	1	6	20
6	10	3	1	6	20
7	11	2	3	7	23
8	12	1	3	7	23

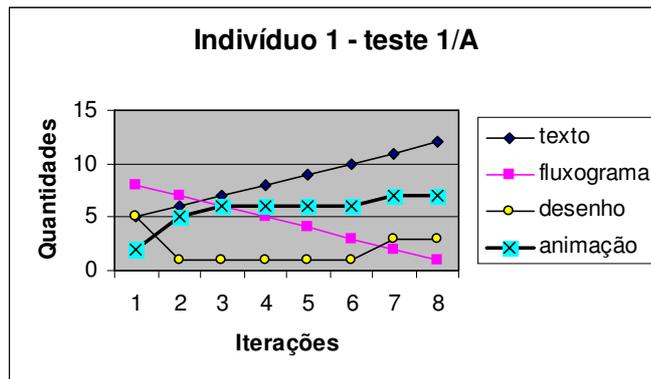


Figura 5.30 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 1/A

*Análise do resultado:* No teste 1/A do indivíduo 1, após este ter suas IMs determinadas e a rede MLP fornecer as quantidades de mídias a serem apresentadas, o usuário tem acesso aos assuntos, através do menu. Para este indivíduo, as quantidades iniciais de mídias apresentadas foram: **5** assuntos em **texto**, **8** em **fluxograma** (lógica), **5** em **desenho** e **2** em **animação**. Considerando-se que o usuário escolheu um assunto que foi apresentado em lógica e ele tenha preferido texto, a rede IAC atuará, com os neurônios 6 do *pool* mídia texto e 7 do *pool* mídia lógica sendo excitados, e a nova condição é obtida. As quantidades de mídias redefinidas pela rede IAC foram: **6** assuntos em mídia **texto**, **7** em mídia **fluxograma**, **1** em **desenho** e **5** em **animação**. A primeira vista este resultado pode parecer estranho, pois como uma alteração nas mídias texto e fluxograma pode ter mudado radicalmente as condições das mídias desenho e animação? Como já salientado algumas vezes, a rede IAC é uma rede de memória associativa, onde os resultados fornecidos por ela representam os valores de equilíbrio resultantes das excitações dos neurônios, sempre refletindo o “conhecimento” inserido nela através de exemplos (associação do que é conhecido). Nesta rede, portanto, se durante o processo de excitação e inibição são encontrados valores que se assemelham a algum padrão (exemplo) inserido na matriz conhecimento, a resposta vai ser o mais próximo deste padrão. Então, este caso específico, com a excitação dos neurônios 6 do *pool* texto e 7 do *pool* lógica e, com as condições resultantes das excitações anteriores, resultou em valores próximos de um padrão (exemplo) existente e a nova condição foi redefinida, refletindo o conhecimento inserido nela, atuando, portanto, de forma correta.

Uma nova condição foi simulada, em que novamente o usuário modifica a condição preferindo texto, ao invés de fluxograma. Condição inicial: **6** assuntos em

mídia **texto**, **7** em mídia **fluxograma**, **1** em **desenho** e **5** em **animação**. Condição final **7** assuntos em mídia **texto**, **6** em **fluxograma**, **1** em **desenho** e **6** em **animação**. Não há padrão (exemplo) semelhante para modificar de forma significativa a condição e o resultado é o valor final de equilíbrio dos neurônios, o qual considera a memória das condições anteriores e a escolha atual do usuário. Este comportamento reflete o conhecimento inserido na rede e se adapta às necessidades do usuário.

Este comportamento se repete ao longo das iterações<sup>11</sup> do usuário com o sistema e tem apresentado, como resultado, um aumento da mídia texto e diminuição da mídia fluxograma, mantendo o equilíbrio entre as mídias desenho e animação, como era esperado.

Nas últimas iterações (7 e 8) a soma das quantidades de mídias ultrapassa 20 (somando 23), o que não representa um grande problema pois se acredita que, como o teste de IMs dos indivíduos, é bastante próximo das condições reais, não serão necessárias tantas iterações por parte dos indivíduos. Outro fator que determina esta condição é que, nos exemplos (conhecimento) inseridos na rede, não são apresentadas muitas situações de extremos (máximo de uma mídia e mínimo de outra). Apesar de não se considerar necessário, para solucionar este problema, deverá se inserir mais alguns exemplos na rede com situações de extremos.

Os resultados do teste 1/A do indivíduo 1 se apresentaram satisfatórios.

Tabela 5.33 Quantidades de mídias geradas pela rede IAC no Teste 2/B – indivíduo 1.

Iterações	Indivíduo 1 - teste 2/B				Quantidade Total
	T	L	D	A	
1	5	8	5	2	20
2	6	8	4	2	20
3	7	8	3	2	20
4	8	8	2	2	20
5	9	8	1	2	20

---

<sup>11</sup> Iteração: do Lat. *Interatione*, ato de repetir, iterar um ato (AURÉLIO, 2003).

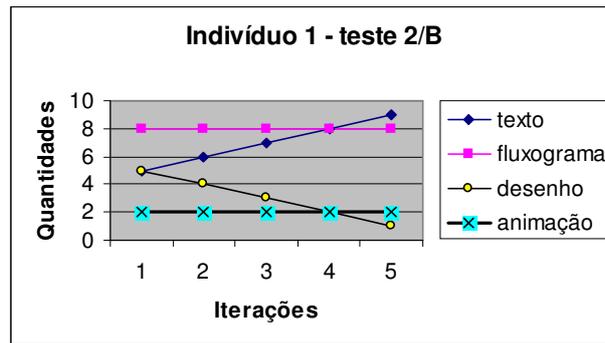


Figura 5.31 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 2/B

*Análise do resultado:* Condição inicial do indivíduo 1: **5** assuntos em **texto**, **8** em **fluxograma (lógica)**, **5** em **desenho** e **2** em **animação**. Neste teste, simulou-se a escolha sempre da mídia texto e a recusa da mídia desenho. Os resultados das iterações foram o aumento da mídia requerida e diminuição da mídia recusada, conforme o esperado. As duas outras mídias se mantiveram com os mesmos valores sendo, portanto, a escolha do usuário determinante na relação de excitação e inibição dos neurônios. Os resultados refletem a memória associativa e a atuação do usuário. Os resultados do teste 2/B se apresentam satisfatórios.

Tabela 5.34 Quantidades de mídias geradas pela rede IAC no Teste 3/C – indivíduo 1

Iterações	Indivíduo 1 - teste 3/C				Quantidade Total
	T	L	D	A	
1	5	8	5	2	20
2	6	5	7	1	19

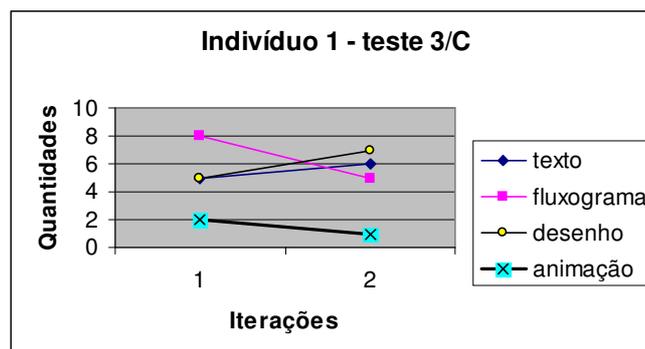


Figura 5.32 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 3/C

*Análise do resultado:* Condição inicial do indivíduo 1: **5** assuntos em **texto**, **8** em **fluxograma (lógica)**, **5** em **desenho** e **2** em **animação**. Neste teste, simulou-se a escolha sempre da mídia texto e recusa da mídia animação. Na primeira iteração,

onde se excita o neurônio 6 para texto e 1 para animação e, considerando as condições de equilíbrio anterior dos neurônios (memória), estabeleceu-se um estado em que existe um padrão (exemplo) semelhante na matriz de conhecimento, resultando em uma redefinição das quantidades de mídia, conforme este padrão. Portanto, o conhecimento determinado na matriz de conhecimento é relevante no fornecimento da resposta. Com estes comportamentos obtidos, conclui-se que os resultados do teste 3/C são satisfatórios.

Tabela 5.35 Quantidades de mídias geradas pela rede IAC no Teste 4/D – indivíduo 1.

Iterações	Indivíduo 1 - teste 4/D				Quantidade Total
	T	L	D	A	
1	5	8	5	2	20
2	4	9	5	2	20
3	3	10	5	2	20
4	2	11	5	2	20
5	1	12	5	2	20

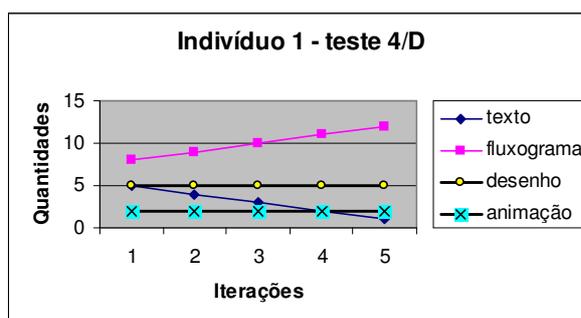


Figura 5.33 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 4/D

*Análise do resultado:* Condição inicial do indivíduo 1: **5** assuntos em **texto**, **8** em **fluxograma (lógica)**, **5** em **desenho** e **2** em **animação**. Neste teste simulou-se a escolha sempre da mídia lógica e recusa da mídia texto. Também neste teste, os resultados das iterações são aumento da mídia requerida e diminuição da mídia recusada, conforme o esperado. As duas outras mídias se mantiveram com os mesmos valores sendo, portanto, a escolha do usuário determinante na relação de excitação e inibição dos neurônios. Os resultados refletem a memória associativa e a atuação do usuário. Os resultados do teste 4/D se apresentam satisfatórios.

Tabela 5.36 Quantidades de mídias geradas pela rede IAC no Teste 5/E – indivíduo 1.

Iterações	Indivíduo 1 - teste 5/E				Quantidade Total
	T	L	D	A	
1	5	8	5	2	20
2	2	9	4	4	19
3	3	10	3	4	20
4	3	11	2	4	20
5	3	12	1	4	20

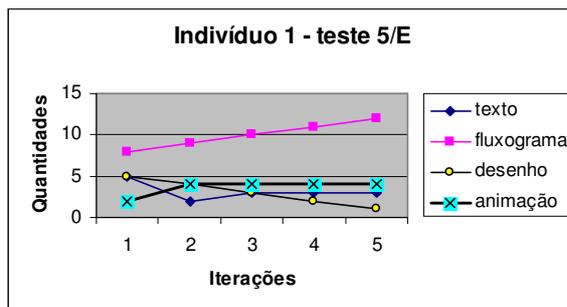


Figura 5.34 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 5/E

*Análise do resultado:* Condição inicial do indivíduo 1: **5** assuntos em **texto**, **8** em **fluxograma (lógica)**, **5** em **desenho** e **2** em **animação**. Neste teste simulou-se a escolha sempre da mídia fluxograma e recusa da mídia desenho. Na primeira iteração onde se excita o neurônio 9 para fluxograma e 4 para desenho e, considerando as condições de equilíbrio anterior dos neurônios (memória), estabeleceu-se um estado em que existe um padrão (exemplo) semelhante na matriz de conhecimento, resultando em uma redefinição das quantidades de mídia, conforme este padrão. Portanto, nesta primeira iteração, o conhecimento determinado na matriz de conhecimento é relevante para a resposta e os resultados das quantidades tornaram-se: **2** assuntos em **texto**, **9** em **fluxograma (lógica)**, **4** em **desenho** e **4** em **animação**. Nas próximas iterações os valores das mídias, requeridas e recusadas, são alteradas conforme determinação do usuário e os valores de equilíbrio resultantes dos neurônios na rede IAC. Observou-se que as mudanças ocorreram nas mídias modificadas pelo usuário, porém as quantidades das outras mídias ficaram estáveis sendo bastante determinante a escolha do usuário no resultado final. Neste teste, a rede se comportou de maneira satisfatória, refletindo as necessidades do usuário e o conhecimento (estratégia pedagógica) inserido na matriz de conhecimento.

Tabela 5.37 Quantidades de mídias geradas pela rede IAC no Teste 6/F – indivíduo 1.

Iterações	Indivíduo 1 - teste 6/F				Quantidade Total
	T	L	D	A	
1	5	8	5	2	20
2	5	9	5	1	20

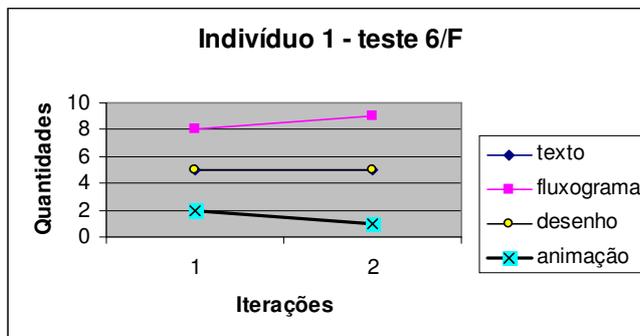


Figura 5.35 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 6/F

*Análise do resultado:* Neste teste apenas uma iteração foi realizada com escolha (aumento) da lógica e recusa (diminuição) da animação. O que foi preponderante na determinação do resultado desta iteração foi a atuação do usuário (excitação dos neurônios do *pool* lógica e do neurônio do *pool* animação). As respostas fornecidas pela rede foram adequadas.

Tabela 5.38 Quantidades de mídias geradas pela rede IAC no Teste 7/G – indivíduo 1

Iterações	Indivíduo 1 - teste 7/G				Quantidade Total
	T	L	D	A	
1	5	8	5	2	20
2	4	8	6	2	20
3	3	3	7	7	20
4	2	3	8	8	21
5	1	3	9	7	20

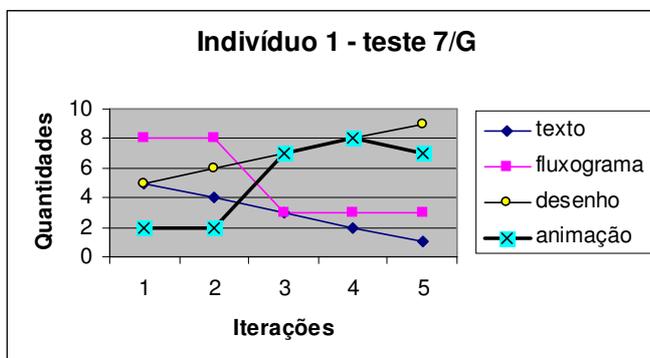


Figura 5.36 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 7/G

*Análise do resultado:* Neste teste há um aumento e diminuição sistemática das

médias desenho e texto, respectivamente (simulação da escolha e recusa, sempre, das médias desenho e texto por parte do usuário). Na 2ª iteração a atuação do usuário é mais determinante, mantendo as outras médias (lógica e animação) na mesma condição da situação anterior (há uma diminuição no “fortalecimento” da relação inibitória dentro dos *pools* destas médias lógica e animação, porém não suficientes para mudar a condição anterior). Na 3ª iteração os valores resultantes das quantidades de médias se modificam bastante, demonstrando que a situação de excitação dos neurônios 3 e 7 dos *pools* texto e desenho, respectivamente, mais os valores de equilíbrio dos neurônios resultantes das iterações anteriores, determinaram valores próximos a um padrão (exemplo na matriz conhecimento), fornecendo, portanto, valores de resposta iguais a este padrão. Nas iterações posteriores, os resultados refletem as condições requeridas pelos usuários e os valores resultantes da relação inibitória e excitatória entre os neurônios, sem muitas alterações nos valores resultantes. Os valores apresentados pela rede foram coerentes.

Tabela 5.39 Quantidades de médias geradas pela rede IAC no Teste 8/H – indivíduo 1.

Iterações	Indivíduo 1 - teste 8/H				Quantidade Total
	T	L	D	A	
1	5	8	5	2	20
2	5	7	6	2	20
3	5	6	7	2	20
4	5	5	8	2	20
5	3	4	9	3	19
6	3	3	10	3	19
7	4	2	11	3	20
8	4	1	12	3	20

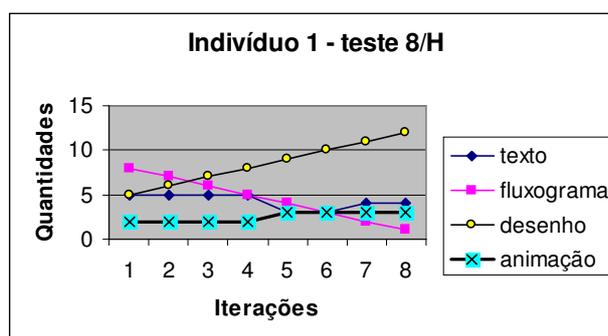


Figura 5.37 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 8/H

*Análise do resultado:* Este teste simulou o usuário sempre escolhendo a mídia desenho e recusando a mídia lógica. Nas primeiras iterações houve alterações somente nas médias escolhida e recusada. Os valores das médias texto e animação se

mantiveram sempre iguais até a situação em que o usuário excita valores das mídias desenho e lógica que possuem valores idênticos na matriz conhecimento (tanto em notas quanto em quantidade), refletindo a estratégia adotada nos exemplos. Após esta aproximação com o padrão existente, nas iterações seguintes, novamente os valores foram alterados conforme a determinação do usuário e o restante das mídias texto e animação se mantêm constante. A mudança das situações das mídias que não foram consideradas pelo usuário é mais lenta, pois os valores resultantes de inibição e excitação dos neurônios são alterados aos poucos. E, para alterar a condição (novo neurônio “vencedor”) são necessárias muitas iterações. Observa-se que, também neste teste, os resultados apresentados foram satisfatórios.

Tabela 5.40 Quantidades de mídias geradas pela rede IAC no Teste 9/I – indivíduo 1.

Iterações	Indivíduo 1 - teste 9/I				Quantidade Total
	T	L	D	A	
1	5	8	5	2	20
2	5	8	6	1	20

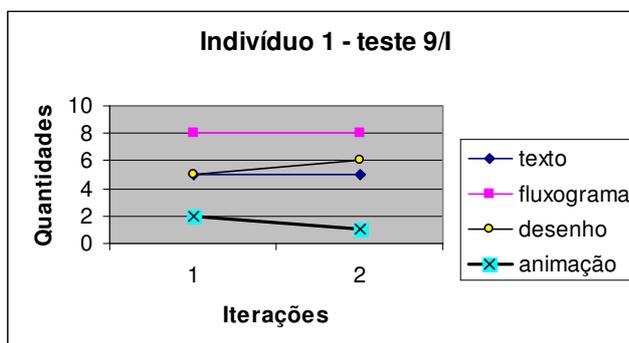


Figura 5.38 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 9/I

*Análise do resultado:* Neste teste, simulou-se a escolha sempre da mídia desenho e recusa da mídia animação e, apenas, uma mudança de opinião é realizada, porque se estabeleceu o mínimo possível de quantidades a serem apresentadas de mídia animação (1). Da situação de mudança (iteração 1 para iteração 2) ficou estabelecida a vontade do usuário e as demais mídias, texto e lógica, mantiveram-se com os mesmos valores. Isto ocorre porque, muitas vezes, apenas uma iteração não é suficiente para mudar o “vencedor” da relação inibitória dos neurônios dentro do *pool* das mídias não consideradas pelo usuário. Os resultados obtidos no teste 9/I correspondem ao esperado.

Tabela 5.41 Quantidades de mídias geradas pela rede IAC no Teste 10/J – indivíduo 1.

Iterações	Indivíduo 1 - teste 10/J				Quantidade Total
	T	L	D	A	
1	5	8	5	2	20
2	4	8	4	3	19
3	3	7	4	4	18
4	2	9	5	5	21
5	1	5	9	6	21

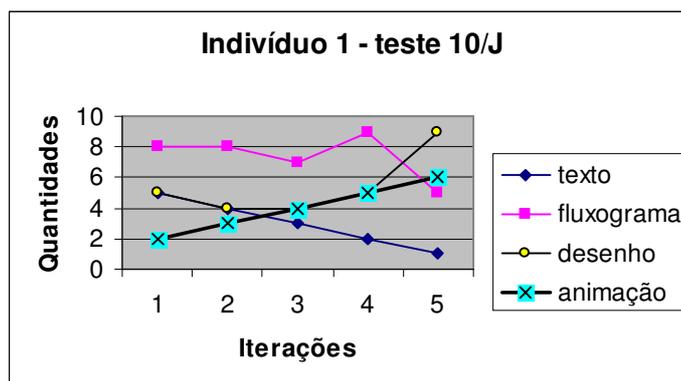


Figura 5.39 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 10/J

*Análise do resultado:* Neste teste, houve sempre aumento da mídia animação e diminuição da mídia texto. Na iteração 2 houve mudança das quantidades de mídias, conforme determinação do usuário, e houve aumento da mídia lógica e diminuição da mídia desenho. Isto provavelmente ocorreu porque, devido à situação da iteração anterior e a atual, nas relações de inibição entre os neurônios do *pools* visíveis e excitação entre os neurônios dos *pools* visíveis e ocultos, uma nova condição de “neurônio vencedor” foi estabelecida. Também da mesma forma, ocorreram mudanças na iteração 3. Já na iteração 4, os valores anteriores já estabilizados (memória) e as novas ativações (excitação externa ocasionada pelo usuário) resultaram em uma situação próxima a um exemplo inserido na matriz de conhecimento e, como resultado, os valores refletiram este conhecimento estabelecido. A iteração 5 também refletiu um padrão (exemplo) inserido na matriz. O teste apresentou bons resultados.

Tabela 5.42 Quantidades de mídias geradas pela rede IAC no Teste 11/K – indivíduo 1.

Iterações	Indivíduo 1 - teste 11/K				Quantidade Total
	T	L	D	A	
1	5	8	5	2	20
2	5	7	5	3	20
3	5	6	5	4	20
4	5	5	5	5	20
5	5	4	5	6	20
6	2	3	7	7	19
7	2	2	7	8	19
8	2	1	7	9	19

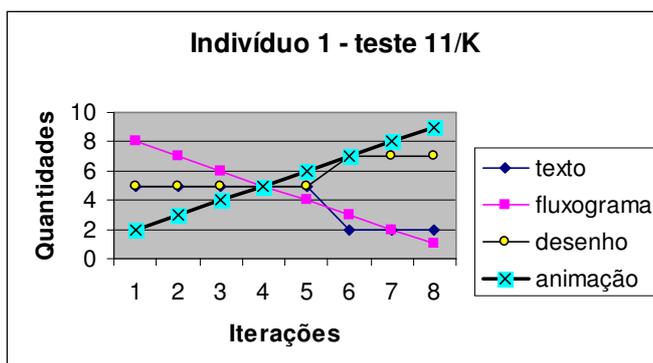


Figura 5.40 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 11/K

*Análise do resultado:* Neste teste simulou-se o usuário sempre escolhendo a mídia animação e recusando a mídia lógica. O comportamento deste teste foi semelhante ao TESTE 8/H, sendo que, nas primeiras iterações, houve alterações somente nas mídias escolhida e recusada. Os valores das mídias texto e desenho se mantiveram sempre iguais, até a situação em que o usuário excitou valores das mídias animação e lógica que resultou em um exemplo existente na matriz conhecimento, devido ao efeito “memória” das condições anteriores e da excitação atual. Neste caso, os resultados foram iguais aos do exemplo refletindo, portanto, a estratégia determinada *a priori*. Após a aproximação com o exemplo existente, nas iterações seguintes, novamente os valores foram alterados conforme a determinação do usuário e os valores resultantes das ativações internas da rede. Observou-se que, novamente, as quantidades das mídias não ativadas pelo usuário se mantiveram com valores constantes, sempre refletindo as condições resultantes, conforme o conhecimento inserido na rede neural.

Tabela 5.43 Quantidades de mídias geradas pela rede IAC no Teste 12/L – indivíduo 1.

Iterações	Indivíduo 1 - teste 12/L				Quantidade Total
	T	L	D	A	
1	5	8	5	2	20
2	5	8	4	3	20
3	6	7	3	4	20
4	6	7	2	5	20
5	6	7	1	6	20

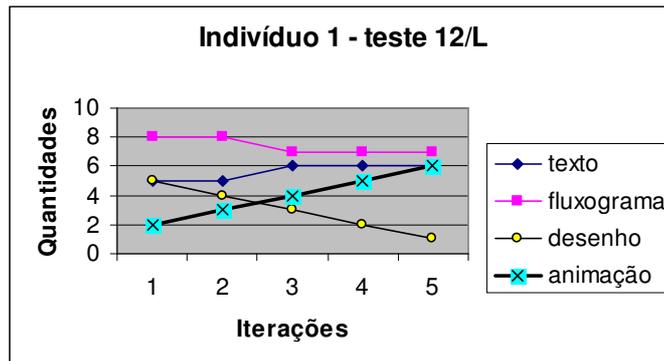


Figura 5.41 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 1, TESTE 12/L

*Análise do resultado:* Neste teste simulou-se o usuário sempre escolhendo a mídia animação e recusando a mídia desenho. O comportamento deste teste é semelhante a alguns testes anteriores, sendo que, nas primeiras iterações, houve alterações somente nas mídias escolhida e recusada. Os valores das mídias texto e lógica se mantiveram sempre iguais, até a iteração 3, na qual foram estabelecidos valores iguais a um exemplo existente na matriz de conhecimento, devido aos valores resultantes obtidos nos neurônios, reflexo das condições anteriores (memória) e atual. Nas iterações seguintes houve uma predominância novamente na escolha determinada pelo usuário. Este teste se comportou similarmente a muitos testes realizados anteriormente e, também, apresentou o resultado esperado.

A seguir serão apresentados os resultados dos testes realizados com os indivíduos 7, 8, 9 e 10. Nestes testes apenas uma das quatro mídias é aumentada (indivíduo 7 texto, indivíduo 8 fluxograma, indivíduo 9 desenho e indivíduo 10 animação), e as demais são alternadamente diminuídas.

Tabela 5.44 Teste 62/M do indivíduo 7 com mudança de mídia (aumento sempre de texto).

	Indivíduo 7 - teste 62/M			
	T	L	D	A
	1	2	3	4
Notas do novo usuário	2,3	2,7	1,5	3,1
Quantidade gerada pela MLP	4	6	2	8
Valores iniciais IAC	2,3	2,7	1,5	3,1
Quantidade rede IAC	4	6	2	8
Mudança do usuário	5			7
Resposta nota rede IAC	2,3	2,7	1,6	3,1
Resposta quantidade	5	6	2	7
Mudança do usuário	6			6
Resposta nota rede IAC	3,5	3,6	2,2	3,4
Resposta quantidade	6	7	1	6
Mudança do usuário	7	6		
Resposta nota rede IAC	4	3,2	1,7	3,7
Resposta quantidade	7	6	1	6
Mudança do usuário	8			5
Resposta nota rede IAC	3	1,9	2,2	2,3
Resposta quantidade	8	3	3	5
Mudança do usuário	9			4
Resposta nota rede IAC	3	1,6	1,9	1,9
Resposta quantidade	9	3	4	4
Mudança do usuário	10			3
Resposta nota rede IAC	3	1,9	2	2,3
Resposta quantidade	10	3	3	5

Tabela 5.45 Quantidades de mídias geradas pela rede IAC no Teste 62/M – indivíduo 7.

Iterações	Indivíduo 7 - teste 62/M				Quantidade Total
	T	L	D	A	
1	4	6	2	8	20
2	5	6	2	7	20
3	6	7	1	6	20
4	7	6	1	6	20
5	8	3	3	5	19
6	9	3	4	4	20
7	10	3	3	5	21

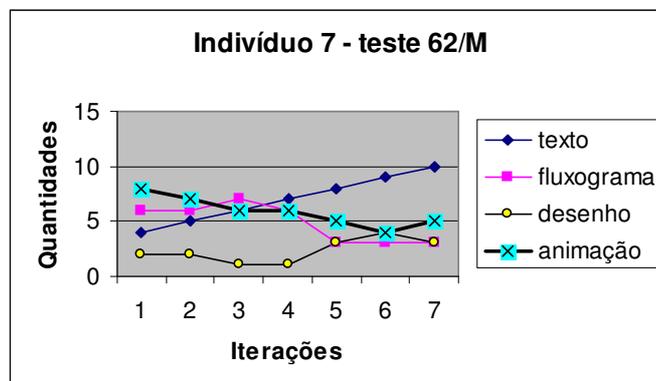


Figura 5.42 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 7, TESTE 62/M.

Tabela 5.46 Teste 63/N do indivíduo 8 com mudança de média (aumento sempre de lógica).

	Indivíduo 8 - teste 63/N			
	T	L	D	A
	1	2	3	4
Notas do novo usuário	2	3	1,5	3,5
Quantidade gerada pela MLP	3	6	2	9
Valores iniciais IAC	2	3	1,5	3,5
Quantidade rede IAC	3	6	2	9
Mudança do usuário			3	8
Resposta nota rede IAC	2	3	1,5	3,5
Resposta quantidade	3	6	3	8
Mudança do usuário		5	4	
Resposta nota rede IAC	2	3,4	3,2	3,8
Resposta quantidade	3	5	4	10
Mudança do usuário	2		5	
Resposta nota rede IAC	1,7	2,9	2,9	3,6
Resposta quantidade	2	5	5	8
Mudança do usuário			6	7
Resposta nota rede IAC	1,7	2,8	3,2	3,4
Resposta quantidade	2	5	6	7
Mudança do usuário			7	6
Resposta nota rede IAC	1,4	2,1	2,2	2,3
Resposta quantidade	2	5	7	6
Mudança do usuário		4	8	
Resposta nota rede IAC	3	2	3	1,3
Resposta quantidade	7	4	8	2

Tabela 5.47 Quantidades de mídias geradas pela rede IAC no Teste 63/N – indivíduo 8.

Iterações	Indivíduo 8				Quantidade Total
	T	L	D	A	
1	3	3	4	9	19
2	3	4	5	8	20
3	4	5	4	8	21
4	3	6	5	8	22
5	3	7	3	7	20
6	4	8	2	6	20
7	3	9	2	6	20

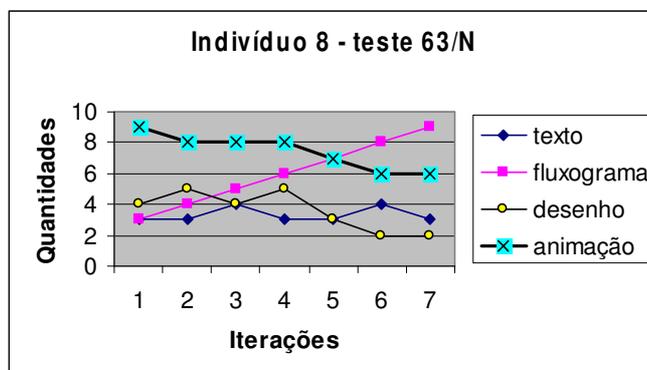


Figura 5.43 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 8, TESTE 63/N

Tabela 5.48 Teste 64/O do indivíduo 9 com mudança de mídia (aumento sempre de desenho).

	Indivíduo 9 - teste 64/O			
	T	L	D	A
	1	2	3	4
Notas do novo usuário	2,7	2,6	2,9	3,8
Quantidade gerada pela MLP	3	3	4	9
Valores iniciais IAC	2,7	2,6	2,9	3,8
Quantidade rede IAC	3	3	4	9
Mudança do usuário		4		8
Resposta nota rede IAC	2,4	2,5	2,8	3,5
Resposta quantidade	3	4	5	8
Mudança do usuário		5	4	
Resposta nota rede IAC	2,4	2,5	2,4	3,3
Resposta quantidade	4	5	4	8
Mudança do usuário	3	6		
Resposta nota rede IAC	2,1	2,6	2,8	3,5
Resposta quantidade	3	6	5	8
Mudança do usuário		7		7
Resposta nota rede IAC	2,6	4	2,9	4
Resposta quantidade	3	7	3	7
Mudança do usuário		8		6
Resposta nota rede IAC	2,4	3,1	1,5	2,7
Resposta quantidade	4	8	2	6
Mudança do usuário	3	9		
Resposta nota rede IAC	2,4	3,1	1,5	2,7
Resposta quantidade	3	9	2	6

Tabela 5.49 Quantidades de mídias geradas pela rede IAC no Teste 64/O – indivíduo 9.

Iterações	Indivíduo 9				Quantidade Total
	T	L	D	A	
1	3	6	2	9	20
2	3	6	3	8	20
3	3	5	4	10	22
4	2	5	5	8	20
5	2	5	6	7	20
6	2	5	7	6	20
7	7	4	8	2	21

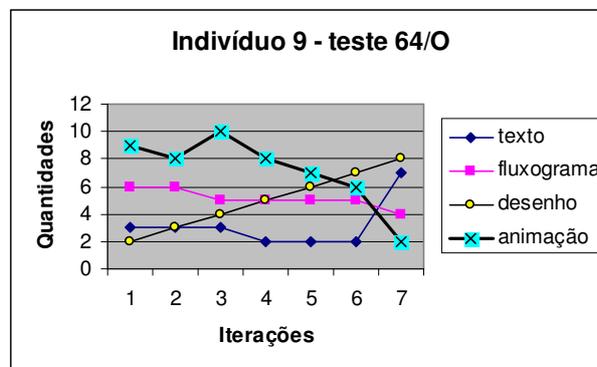


Figura 5.44 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 9, TESTE 64/O

Tabela 5.50 Teste 65/P do indivíduo 10 com mudança de mídia (aumento sempre de animação).

	Indivíduo 10 - teste 65/P			
	T	L	D	A
	1	2	3	4
Notas do novo usuário	3,6	3,7	2,8	2
Quantidade gerada pela MLP	7	7	4	2
Valores iniciais IAC	3,6	3,7	2,8	2
Quantidade rede IAC	7	7	4	2
Mudança do usuário	6			3
Resposta nota rede IAC	3,6	3,7	2,8	2
Resposta quantidade	6	7	4	3
Mudança do usuário		6		4
Resposta nota rede IAC	2	3,4	3,7	2,7
Resposta quantidade	2	6	7	4
Mudança do usuário			6	5
Resposta nota rede IAC	2,4	1,2	2,2	2
Resposta quantidade	7	2	6	5
Mudança do usuário	6			6
Resposta nota rede IAC	3,5	3,6	2,2	3,4
Resposta quantidade	6	7	1	6
Mudança do usuário		6		7
Resposta nota rede IAC	3,5	3,6	2,2	3,4
Resposta quantidade	6	6	1	7
Mudança do usuário	5			8
Resposta nota rede IAC	3,5	3,6	2,2	3,4
Resposta quantidade	5	7	1	8

Tabela 5.51 Quantidades de mídias geradas pela rede IAC no Teste 65/P – indivíduo 10.

Iterações	Indivíduo 10				Quantidade Total
	T	L	D	A	
1	7	7	4	2	20
2	6	7	4	3	20
3	2	6	7	4	19
4	7	2	6	5	20
5	6	7	1	6	20
6	6	6	1	7	20
7	5	7	1	8	21

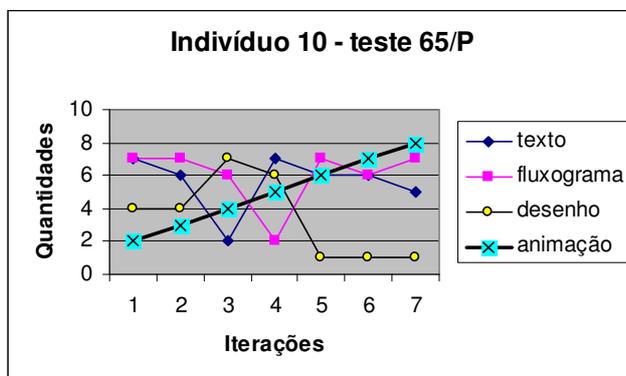


Figura 5.45 Resultados obtidos das iterações simuladas do Indivíduo 10, TESTE 65/P

Análise dos resultados: Os testes 62/M, 63/N, 64/O, 65/P referem-se aos testes

realizados com os indivíduos 7, 8, 9 e 10, respectivamente. Aqui, serão analisados todos estes testes, pois apresentam comportamentos semelhantes. Em cada um destes houve uma escolha, sempre, de uma mesma mídia e recusa das outras, de maneira aleatória. O que pode ser observado é que houve uma diminuição gradual das outras mídias, devido às intervenções do usuário e dos valores obtidos nas iterações anteriores. Observa-se que, em algumas iterações realizadas, foram determinadas situações equivalentes a um exemplo da matriz de conhecimento (padrão) e, neste caso o resultado apresentado foi reflexo deste conhecimento. Portanto, esta rede IAC apresenta um comportamento determinado pelo conhecimento inserido na matriz e pela intervenção do usuário no sistema. Todos os testes analisados apresentaram bons resultados e, este comportamento foi constatado, também, nos diversos testes apresentados no Cap.11 (RP/D-IEB-01/2004).

### **5.2.2 Validação do Mecanismo de Adaptação**

Além dos testes apresentados anteriormente, mais alguns testes foram realizados para validar o “comportamento” (respostas) da rede IAC. Considerando-se que a rede MLP “reflete” o conhecimento do especialista (profissional que forneceu conhecimento através do preenchimento da tabela de exemplos), esta rede vai ser utilizada para validar as respostas fornecidas pela rede IAC, ou seja, verifica-se se a rede IAC também “reflete” o conhecimento do especialista, como se espera. Para isto, todas as novas notas fornecidas pela IAC (saídas da rede que representam notas) são aplicadas à rede MLP e as quantidades fornecidas pelas duas redes são comparadas. Se a rede IAC realmente reflete o conhecimento do especialista, os valores das quantidades das duas redes devem ser iguais. Observa-se, entretanto, que a rede IAC leva em consideração a mídia escolhida pelo usuário na iteração atual e nas iterações anteriores (memória), algo que a rede MLP não faz, e que deve ser levado em consideração na análise dos resultados.

O desejo do usuário e a memória (comportamento determinado pelo usuário em iterações anteriores) são dois fatores importantes e devem ser levados em consideração em algumas aplicações tais como em sistemas adaptativos, como este que está sendo desenvolvido.

Para realização de tal validação foram utilizados os mesmos testes apresentados na seção anterior, portanto com os mesmos indivíduos. A seguir serão apresentados os resultados e análises obtidas com o indivíduo 1. No Cap.12 (RP/D-

IEB-01/2004) são apresentados os resultados dos indivíduos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 e, no total foram realizados 65 testes para esta validação.

Neste teste as tabelas seguintes apresentam: na primeira linha, as notas do novo usuário (obtidas das marcações do teste de IM), na segunda linha é apresentada a saída da rede MLP que fornece a quantidade de cada mídia, a terceira linha apresenta os neurônios (notas) que serão ativados na rede neural IAC, a quarta linha apresenta a resposta da rede IAC (quantidade de cada mídia), a quinta linha apresenta os neurônios (valor numérico das quantidades) que serão ativados na rede IAC (mudança do usuário), a sexta linha apresenta o valor das notas fornecidas pela rede IAC, a sétima linha apresenta o valor de resposta da rede IAC (quantidades), a oitava linha apresenta a resposta da rede MLP (quantidades), sendo que as entradas desta rede foram as notas fornecidas pela IAC. Estas saídas (quantidades) da MLP são comparadas com a fornecida pela IAC. Esta comparação é realizada nas iterações apresentadas na Tabela 5.52 e analisadas a seguir.

Tabela 5.52 Testes 1/A, 2/B e 3/C para validação da rede IAC para o indivíduo 1.

	Indivíduo 1 - teste 1/A				Indivíduo 1 - teste 2/B				Indivíduo 1 - teste 3/C			
	T	L	D	A	T	L	D	A	T	L	D	A
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Notas do novo usuário	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade gerada rede MLP	5	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Valores iniciais rede IAC 1ª	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade gerada rede IAC	5	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Mudança do usuário	6	7			6		4		6			1
Resposta nota rede IAC	2,9	3,1	1,4	2,5	2,6	3,1	2,4	1,5	3	2,9	3,5	1,5
Resposta quantidade 2ª	6	7	1	5	6	8	4	2	6	5	7	1
Quantidade rede MLP	6	7	1	5	5	8	5	2	6	5	7	1
Mudança do usuário	7	6			7		3					
Resposta nota rede IAC	4	3,2	1,7	3,7	2,6	3,1	2,4	1,5				
Resposta quantidade 3ª	7	6	1	6	7	8	3	2				
Quantidade rede MLP	7	6	1	6	5	8	5	2				
Mudança do usuário	8	5			8		2					
Resposta nota rede IAC	4	3,2	1,7	3,7	3,9	3,5	1,6	1,3				
Resposta quantidade 4ª	8	5	1	6	8	8	2	2				
Quantidade rede MLP	7	6	1	6	9	8	2	2				
Mudança do usuário	9	4			9		1					
Resposta nota rede IAC	4	3,2	1,7	3,7	3,9	3,5	1,6	1,3				
Resposta quantidade 5ª	9	4	1	6	9	8	1	2				
Quantidade rede MLP	7	6	1	6	9	8	2	2				
Mudança do usuário	10	3										
Resposta nota rede IAC	4	3,2	1,7	3,7								
Resposta quantidade 6ª	10	3	1	6								
Quantidade rede MLP	7	6	1	6								
Mudança do usuário	11	2										
Resposta nota rede IAC	3,7	1,3	1,7	3,7								
Resposta quantidade 7ª	11	2	3	7								
Quantidade rede MLP	9	2	3	7								
Mudança do usuário	12	1										
Resposta nota rede IAC	3,7	1,3	1,7	3,4								
Resposta quantidade 8ª	12	1	3	7								
Quantidade rede MLP	9	2	3	7								

*Análises dos resultados:* No teste 1/A, na primeira iteração as quantidades geradas pela rede MLP são iguais às geradas pela IAC (duas primeiras setas, 1ª iteração). Quando o usuário intervém no sistema (mudança do usuário), a rede IAC fornece novas notas e quantidades. Aplicando-se estas novas notas na rede MLP, esta fornece novas quantidades. Comparando-se as quantidades fornecidas pelas duas redes (2ª iteração) verificou-se que elas são iguais concluindo-se, portanto, que a rede IAC realmente refletiu o conhecimento do especialista. Nas iterações seguintes, apesar das quantidades fornecidas pela rede IAC modificarem, as notas não tiveram alteração. Isto acontece porque as mudanças do usuário fortaleceram a relação inibitória dos neurônios ativados dos *pools* quantidades, mas não foram suficientes para mudar o valor resultante dos neurônios pertencentes aos *pools* referentes às notas. Observa-se, entretanto, que as quantidades de médias que sofreram alteração na rede IAC referem-se às médias modificadas pelo usuário, representando, portanto,

o desejo do usuário (4<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup> e 6<sup>a</sup> iterações).

Este “comportamento” da rede é observado até o momento em que as modificações do usuário são suficientes para modificar o valor resultante dos neurônios dos *pools* notas. Quando as notas do resultado da rede IAC são modificadas, estas novas notas geradas são inseridas novamente na rede MLP e as quantidades (saída da rede MLP) são obtidas.

Comparando-se as quantidades geradas pela MLP e pela IAC, verifica-se que os valores não são totalmente iguais (7<sup>a</sup> iteração). A quantidade da mídia sempre escolhida (texto) pelo usuário é maior na rede IAC (11 mídias texto) do que na rede MLP (9 mídias texto). Isto acontece porque a rede IAC leva em consideração o fortalecimento da relação inibitória que ocorre pela escolha do usuário da mídia texto (excitação do neurônio 11 do *pool* mídia texto), sendo os demais resultados (quantidade das outras mídias) iguais ao da rede MLP. Como esperado, a rede IAC refletiu o conhecimento do especialista, o desejo do usuário e as iterações anteriores (memória) do usuário. A rede apresentou resultados satisfatórios para o teste 1/A. A diferença entre os valores das quantidades geradas pelas duas redes (MLP e IAC) para a mídia texto no teste 1/A pode ser observada na Figura 5.46.

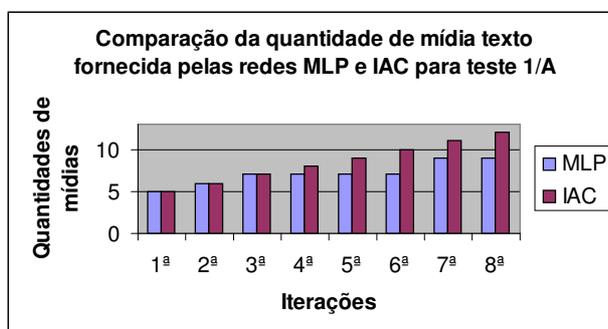


Figura 5.46 Comparação da quantidade de mídia texto fornecida pelas redes MLP e IAC para teste 1/A.

Observa-se que quanto mais iterações ocorrerem mais o valor da IAC se distancia da rede MLP, devido à memória das iterações anteriores efetuadas pelo usuário. Como houve poucas iterações no teste 3/C, todos os valores das quantidades das duas redes foram iguais. Em todos os testes realizados (65 testes em 10 indivíduos) obteve-se o mesmo comportamento. A seguir serão apresentados todos os testes realizados com o indivíduo 1 e os testes com os demais indivíduos são apresentados no Cap.12 (RP/D-IEB-01/2004). A rede apresentou resultados bastante promissores.

Tabela 5.53 Testes 4/D, 5/E e 6/F para validação da rede IAC para o indivíduo 1.

	Indivíduo 1 - teste 4/D				Indivíduo 1 - teste 5/E				Indivíduo 1 - teste 6/F			
	T	L	D	A	T	L	D	A	T	L	D	A
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Notas do novo usuário	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade gerada rede MLP	5	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Valores iniciais rede IAC	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade gerada rede IAC	5	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Mudança do usuário	4	9			9	4			9			1
Resposta nota rede IAC	2,6	3,1	2,4	1,5	1,6	3,5	2,1	2,2	2,6	3,1	2,4	1,5
Resposta quantidade	4	9	5	2	2	9	4	4	5	9	5	1
Quantidade rede MLP	5	8	5	2	2	9	4	4	5	8	5	2
Mudança do usuário	3	10				10	3					
Resposta nota rede IAC	2,6	3,1	2,4	1,5	2	3,4	1,6	1,8				
Resposta quantidade	3	10	5	2	3	10	3	4				
Quantidade rede MLP	5	8	5	2	3	10	3	4				
Mudança do usuário	2	11				11	2					
Resposta nota rede IAC	2,6	3,1	2,4	1,5	2	3,4	1,6	1,8				
Resposta quantidade	2	11	5	2	3	11	2	4				
Quantidade rede MLP	5	8	5	2	3	10	3	4				
Mudança do usuário	1	12				12	1					
Resposta nota rede IAC	2,6	3,1	2,4	1,5	2	3,4	1,6	1,8				
Resposta quantidade	1	12	5	2	3	12	1	4				
Quantidade rede MLP	5	8	5	2	3	10	3	4				

Tabela 5.54 Testes 7/G, 8/H e 9/I para validação da rede IAC,

	Indivíduo 1 - teste 7/G				Indivíduo 1 - teste 8/H				Indivíduo 1 - teste 9/I			
	T	L	D	A	T	L	D	A	T	L	D	A
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Notas do novo usuário	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade gerada rede MLP	5	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Valores iniciais rede IAC	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade gerada rede IAC	5	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Mudança do usuário	4		6			7	6				6	1
Resposta nota rede IAC	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Resposta quantidade	4	8	6	2	5	7	6	2	5	8	6	1
Quantidade rede MLP	5	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Mudança do usuário	3		7			6	7					
Resposta nota rede IAC	1,6	1,8	2,6	2,5	2,6	3,1	2,4	1,5				
Resposta quantidade	3	3	7	7	5	6	7	2				
Quantidade rede MLP	3	3	7	7	5	8	5	2				
Mudança do usuário	2		8			5	8					
Resposta nota rede IAC	1,6	1,8	2,6	2,5	2,6	3,1	2,4	1,5				
Resposta quantidade	2	3	8	8	5	5	8	2				
Quantidade rede MLP	3	3	7	7	5	8	5	2				
Mudança do usuário	1		9			4	9					
Resposta nota rede IAC	1,6	1,8	2,6	2,5	1,9	2,3	3,4	1,6				
Resposta quantidade	1	3	9	7	3	4	9	3				
Quantidade rede MLP	3	3	7	7	3	6	8	3				
Mudança do usuário						3	10					
Resposta nota rede IAC					1,9	3	3,4	2,2				
Resposta quantidade					3	3	10	3				
Quantidade rede MLP					3	6	8	3				
Mudança do usuário						2	11					
Resposta nota rede IAC					2,2	1,7	3,9	2,1				
Resposta quantidade					4	2	11	3				
Quantidade rede MLP					4	2	11	3				
Mudança do usuário						1	12					
Resposta nota rede IAC					2,2	1,7	3,9	2,1				
Resposta quantidade					4	1	12	3				
Quantidade rede MLP					4	2	11	3				

Tabela 5.55 Testes 10/J, 11/K e 12/L para validação da rede IAC para o indivíduo 1

	Indivíduo 1 - teste 10/J				Indivíduo 1 - teste 11/K				Indivíduo 1 - teste 12/L			
	T	L	D	A	T	L	D	A	T	L	D	A
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Notas do novo usuário	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade gerada rede MLP	5	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Valores iniciais rede IAC	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade gerada rede IAC	5	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Mudança do usuário	4			3		7		3			4	3
Resposta nota rede IAC	2,2	3	2,3	1,4	2,6	3,1	2,4	1,5	2,6	3,1	2,4	1,5
Resposta quantidade	4	8	4	3	5	7	5	3	5	8	4	3
Quantidade rede MLP	4	8	5	2	5	8	5	2	5	8	5	2
Mudança do usuário	3			4		6		4			3	4
Resposta nota rede IAC	2,7	3,7	3,1	2,9	2,6	3,1	2,4	1,5	3,2	3,3	2,4	2,5
Resposta quantidade	3	7	4	4	5	6	5	4	6	7	3	4
Quantidade rede MLP	3	7	4	4	5	8	5	2	6	7	3	4
Mudança do usuário	2			5		5		5			2	5
Resposta nota rede IAC	1,5	3,6	2,7	2,8	2,6	3,1	2,4	1,5	3,9	3,1	1,4	2,5
Resposta quantidade	2	9	5	5	5	5	5	5	6	7	2	5
Quantidade rede MLP	2	9	5	5	5	8	5	2	9	6	1	4
Mudança do usuário	1			6		4		6			1	6
Resposta nota rede IAC	1,2	3,2	4	3,1	2,6	3,1	2,4	1,5	3,5	3,6	2,2	3,4
Resposta quantidade	1	5	9	6	5	4	5	6	6	7	1	6
Quantidade rede MLP	1	5	9	5	5	8	5	2	6	7	1	6
Mudança do usuário						3		7				
Resposta nota rede IAC					1,6	1,8	2,6	2,5				
Resposta quantidade					2	3	7	7				
Quantidade rede MLP					3	3	7	7				
Mudança do usuário						2		8				
Resposta nota rede IAC					1,6	1,8	2,6	2,5				
Resposta quantidade					2	2	7	8				
Quantidade rede MLP					3	3	7	7				
Mudança do usuário						1		9				
Resposta nota rede IAC					1,6	1,8	2,6	2,5				
Resposta quantidade					2	1	7	9				
Quantidade rede MLP					3	3	7	7				

### 5.2.3 Fluxograma do Programa de Adaptação Desenvolvido

Após a determinação da configuração da rede IAC a ser usada e todos os testes realizados foi desenvolvido o programa em MatLab. O fluxograma deste programa é apresentado na Figura 5.47 e as principais funções do programa principal são apresentadas no Cap.13 (RP/D-IEB-01/2004).

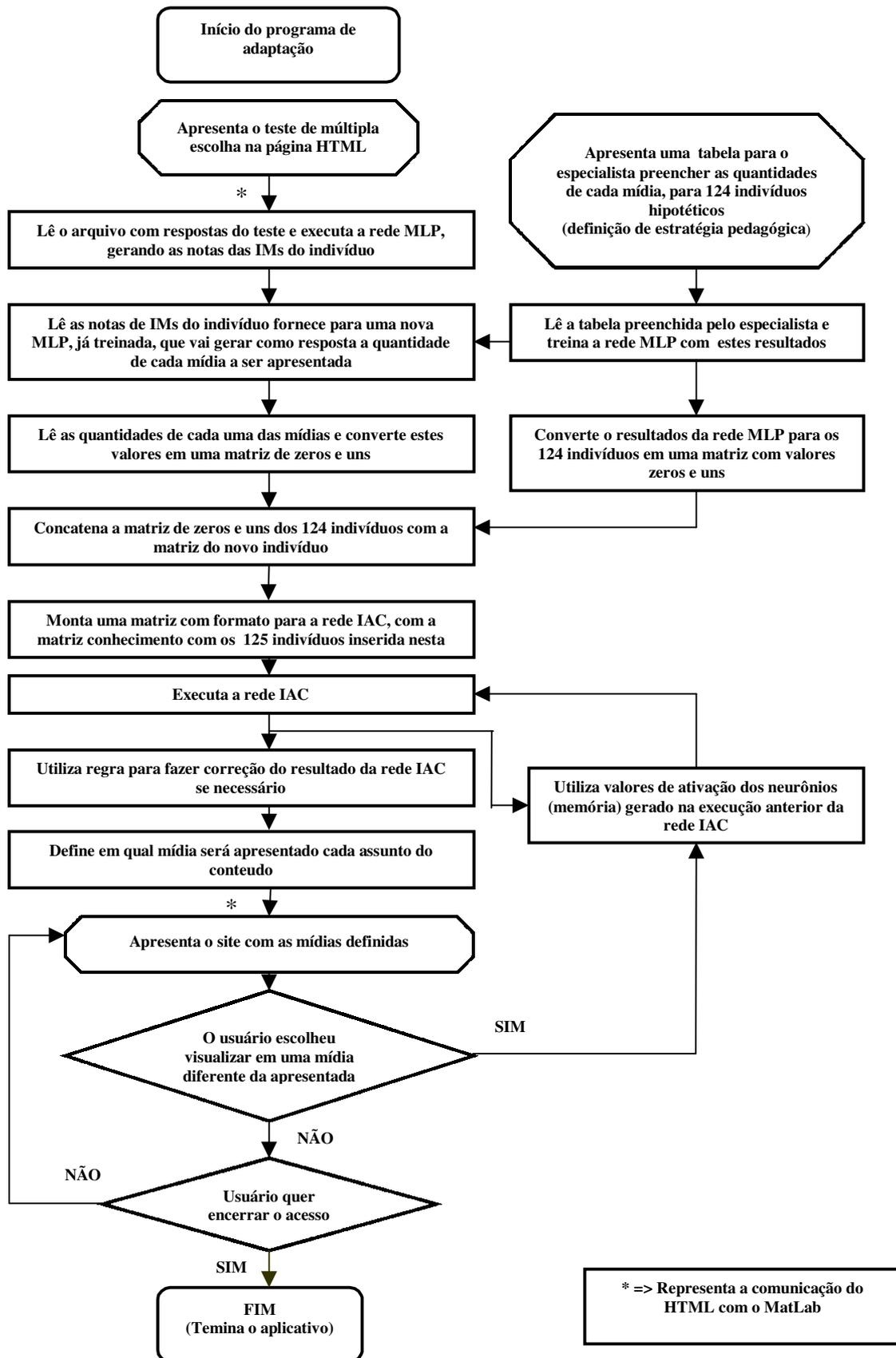


Figura 5.47 Fluxograma do programa de adaptação.

No fluxograma, o usuário tem acesso ao sistema pelo Módulo de Interface, o qual apresenta o teste de múltipla escolha (desenvolvido em HTML e JSP). O resultado do teste vai sendo armazenado em um arquivo txt, em determinada pasta da raiz do computador. O programa em MatLab, ao verificar a existência deste arquivo txt (forma de comunicação do HTML com MatLab), faz a leitura das respostas do teste e executa a rede MLP, gerando notas das IMs do usuário. Esta rede MLP é treinada com a leitura de uma tabela preenchida por um especialista. Esta tabela, apresentada pelo Excel, contém notas de 124 indivíduos hipotéticos que são preenchidas com as quantidades de mídias que o conteúdo deve ser apresentado. Esta tabela só precisa ser preenchida uma única vez, ou quando se pretende mudar a estratégia adotada. Com as notas das IMs do novo usuário, a rede MLP fornece as quantidades de mídias que o conteúdo deve ser apresentado. Os valores dos 124 indivíduos hipotéticos e o novo indivíduo (125) são concatenados e convertidos em valores binários. É montada uma matriz de conhecimento (com o formato para a rede IAC) com os 125 indivíduos inseridos nesta. A rede IAC é executada, são verificados os valores gerados e, caso necessário, os valores são corrigidos através de regras (Sistema Especialista). São definidas as mídias que serão apresentadas em cada assunto do conteúdo. Esta informação é transferida para o Módulo de Interface, onde o conteúdo é apresentado. O usuário utiliza o sistema e caso ele escolha uma mídia diferente da determinada, a rede IAC novamente é executada e o processo se repete até o usuário encerrar o acesso.

#### **5.2.4 Correção do Erro da Rede Neural**

A rede IAC, assim como a maioria das redes, não apresenta um índice de acerto de 100 %. Para solucionar estes casos em que a resposta não é exata, foram estabelecidas regras que serão utilizadas na programação, caso a soma das quantidades das mídias forem diferentes de 20 (vinte). Ou seja, somando-se a quantidade de mídia texto, lógica, desenho e animação, o valor sempre deverá ser 20, pois o tema foi dividido, no menu principal, em 20 assuntos.

A seguir serão apresentados fluxogramas com a representação das regras desenvolvidas, para correção da rede, caso necessário.

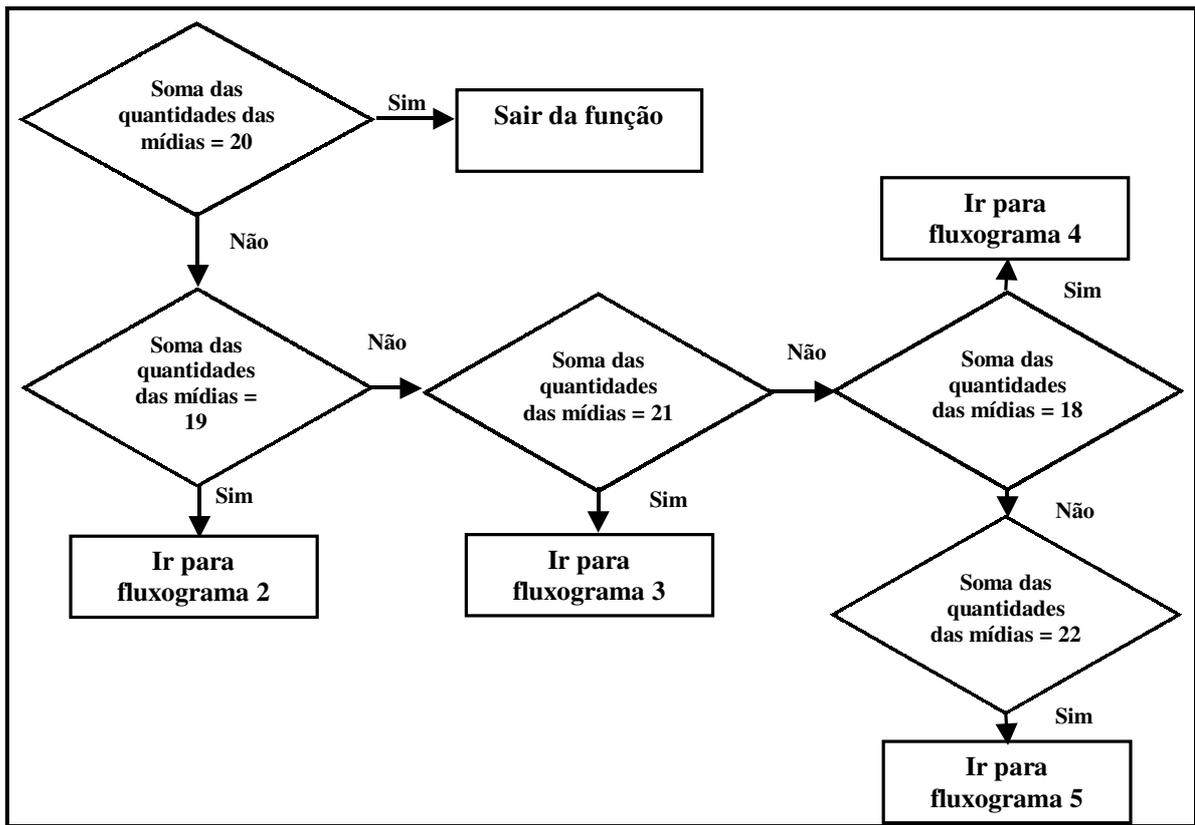


Figura 5.48 Fluxograma 1 de representação das regras para correção de erro da rede neural desenvolvida

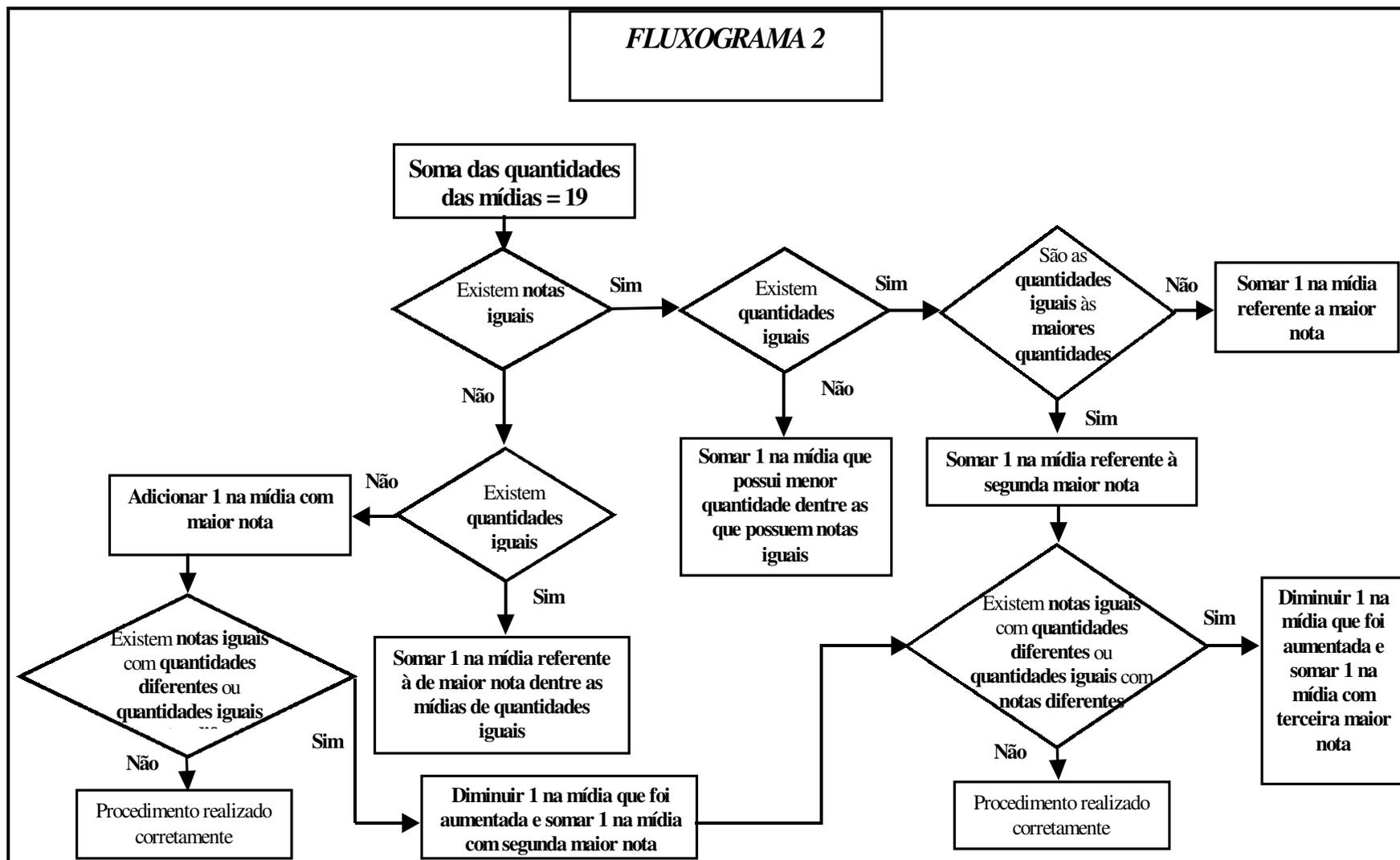


Figura 5.49 Fluxograma 2 com regras de correção de erro da rede neural tipo IAC, quando a soma das quantidades das médias for igual a 19.

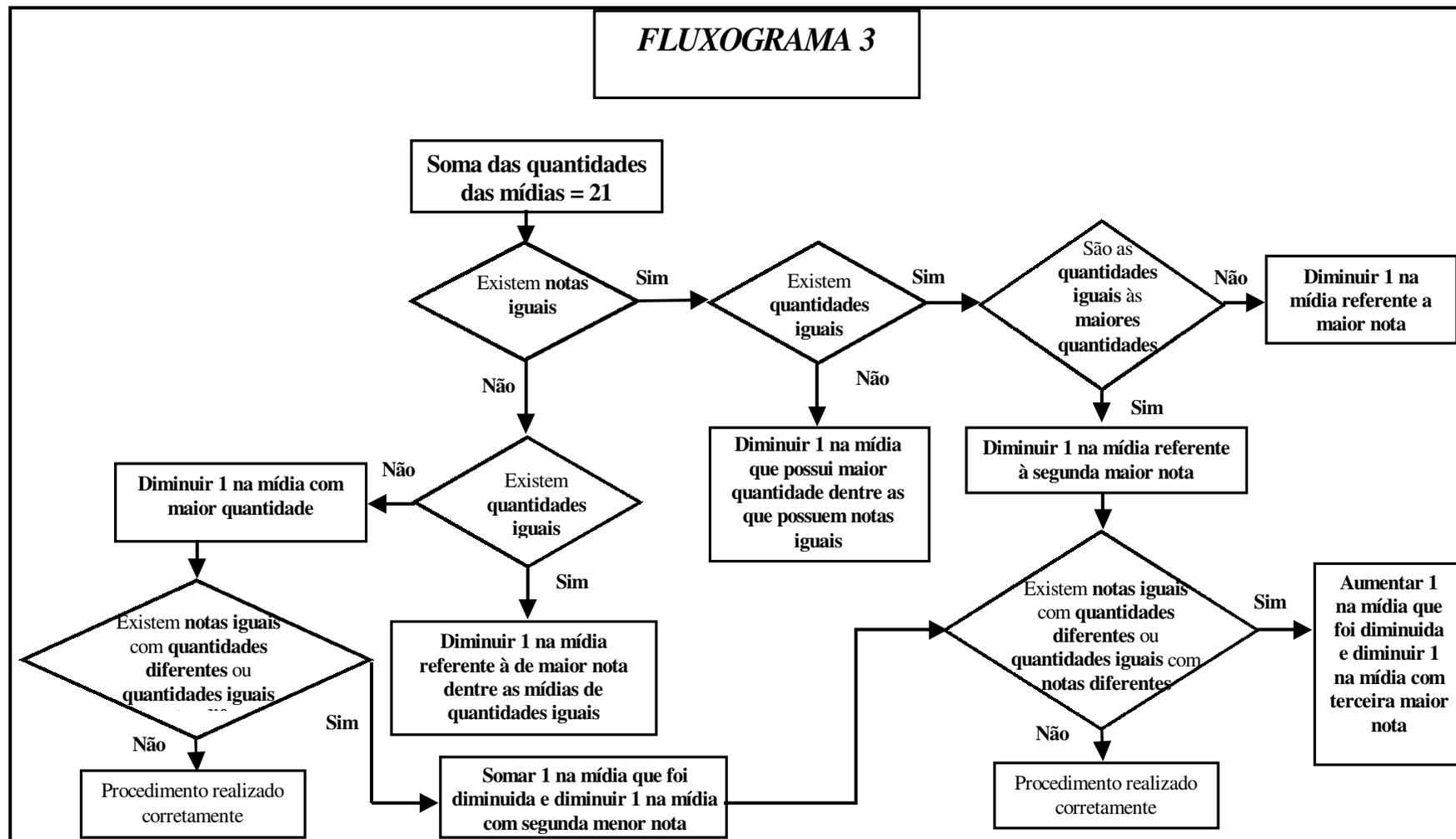


Figura 5.50 Fluxograma 3 com regras de correção de erro da rede neural tipo IAC, quando a soma das quantidades das médias for igual a 21.

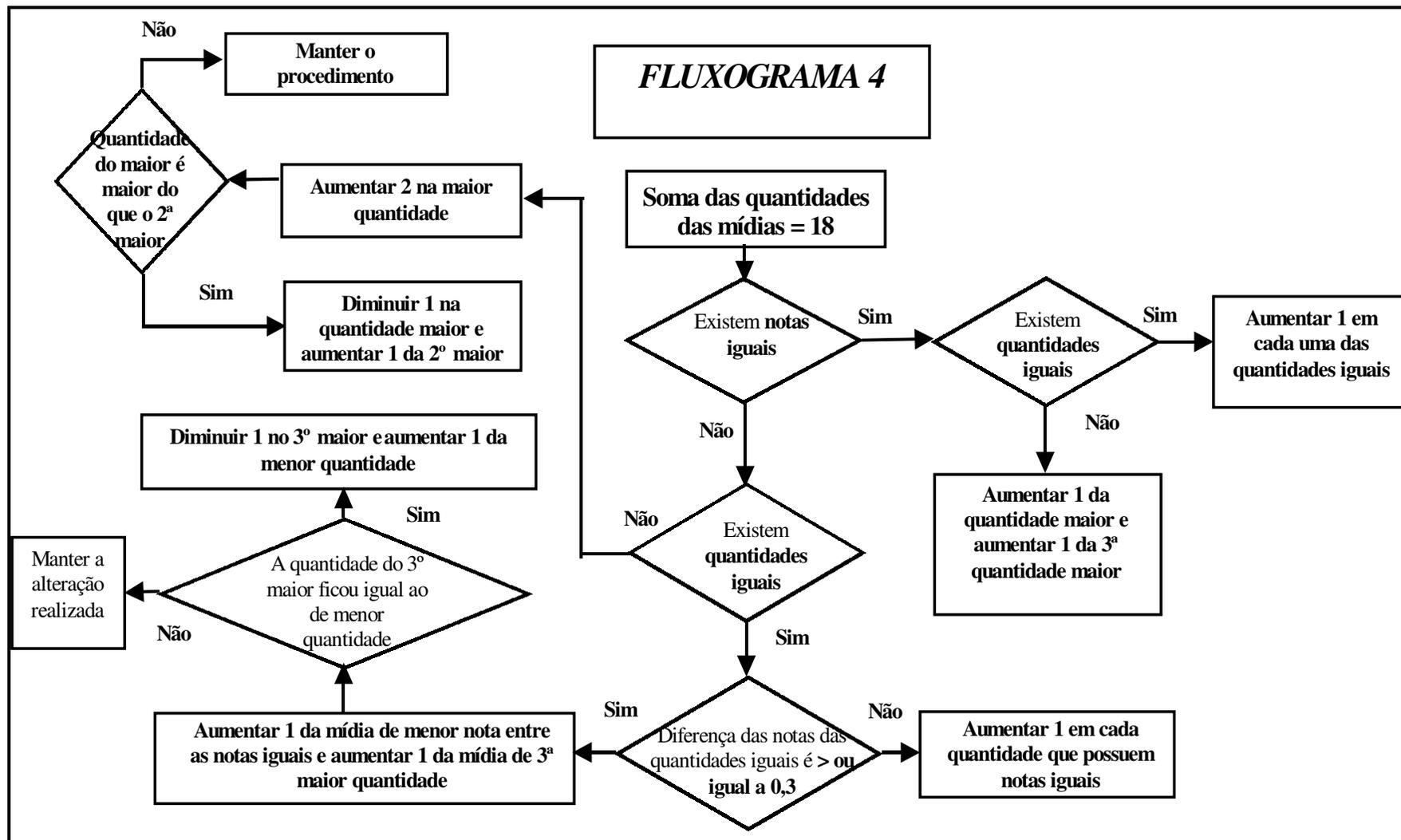


Figura 5.51 Fluxograma 4 com regras de correção de erro da rede neural tipo IAC, quando a soma das quantidades das médias for igual a 18.

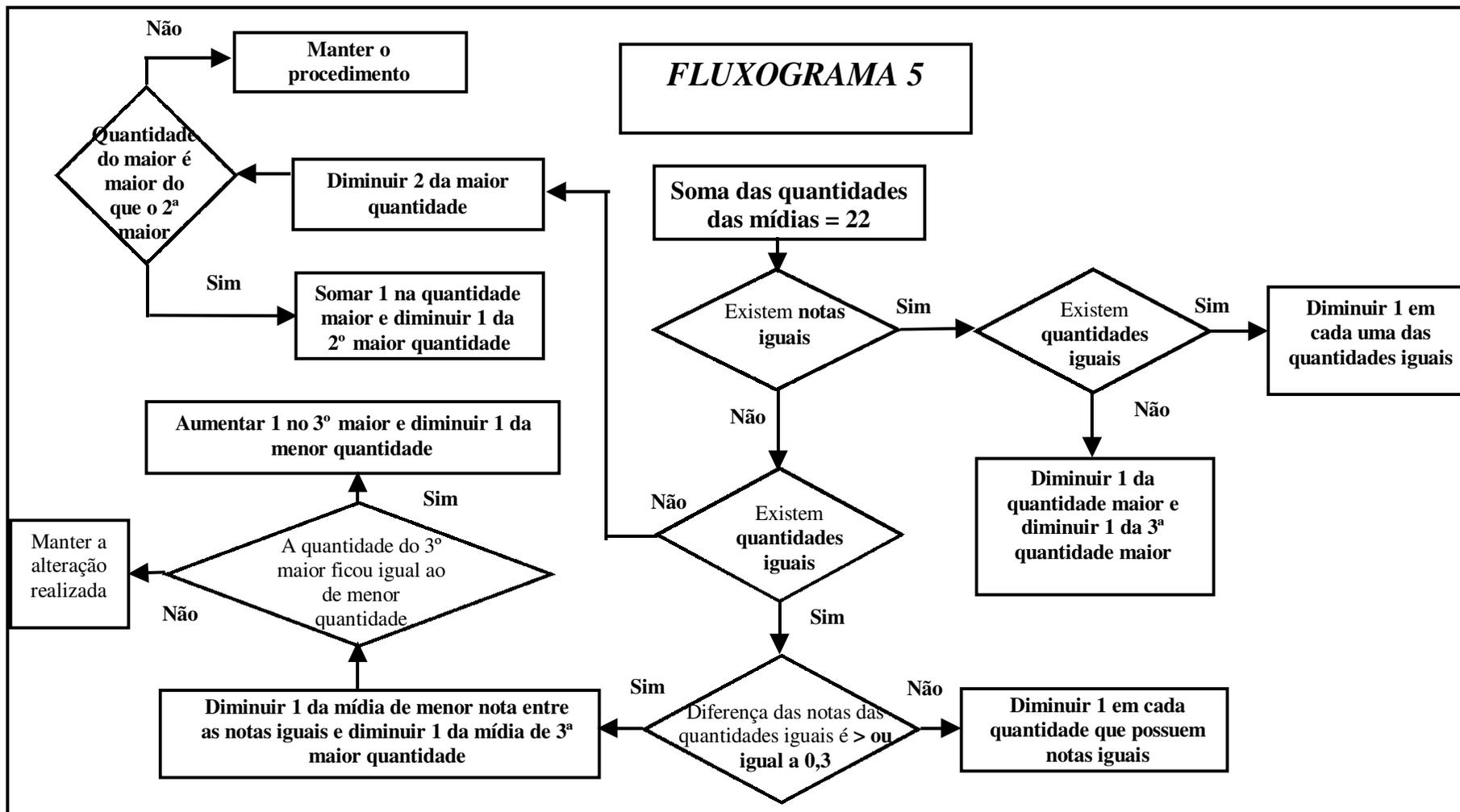


Figura 5.52 Fluxograma 5 com regras de correção de erro da rede neural tipo IAC, quando a soma das quantidades das médias for igual a 22.

### 5.2.5 Validação do SE Desenvolvido

Para validar o SE desenvolvido, que garante que a quantidade total de mídias a ser apresentada vai ser 20, foi realizado um teste. Nele, as notas de alguns indivíduos são inseridas nas redes neurais do tipo MLP e IAC e são processadas. Os valores cuja soma das mídias texto, fluxograma, desenho e animação são diferentes de 20 são corrigidas pelo SE. Os resultados obtidos foram satisfatórios, e as simulações relativas a vinte indivíduos são apresentadas na Tabela 5.2.5.56. No Cap.14 (RP/D-IEB-01/2004) são apresentados mais resultados, com mais indivíduos para a validação do SE.

Na tabela, a primeira coluna apresenta o número do indivíduo, nas colunas dois a cinco são apresentadas as notas de cada IM considerada, nas colunas seis a nove as quantidades de cada mídia (texto, fluxograma, desenho e animação) gerada pela rede neural, a coluna dez apresenta o total da quantidade de mídias. Quando a soma é diferente de vinte o SE corrige o valor total da soma, com alteração da quantidade de alguma (as) das mídias, conforme regra. As quantidades de cada mídia corrigida pelo SE são apresentadas nas colunas onze a quatorze e o valor total na coluna quinze.

Tabela 5.2.5.56 Resultados da validação do SE.

Ind.	Notas				Resultados rede				Total	Resultado SE				Total
1	2,7	3,4	3,6	2,6	4	6	7	3	20	4	6	7	3	20
2	3,7	2,8	3,2	3,3	7	3	4	5	19	8	3	4	5	20
3	2,6	3,6	2,9	2,5	4	8	4	4	20	4	8	4	4	20
4	2,6	2,6	2,1	2,2	5	6	4	4	19	6	6	4	4	20
5	2,6	3,5	3,2	2,6	4	7	5	4	20	4	7	5	4	20
6	2,7	2,8	3,2	2,6	4	5	6	4	19	5	5	6	4	20
7	3,1	3,3	3,2	3,5	4	5	4	6	19	4	5	5	6	20
8	3,1	2,8	2,6	2,3	6	5	4	4	19	6	5	5	4	20
9	2,1	3,3	3,1	2,8	2	7	6	5	20	2	7	6	5	20
10	2,3	3,1	2,9	2,7	3	6	5	5	19	3	6	6	5	20
11	3,6	2,7	3,2	2,6	7	4	5	4	20	7	4	5	4	20
12	2,9	3,1	3,5	3,3	4	4	6	6	20	4	4	6	6	20
13	2,7	2,9	2,8	2,5	4	6	5	4	19	5	6	5	4	20
14	3	2,7	3,3	2,6	5	4	6	4	19	5	5	6	4	20
15	2,5	2,8	2,6	2,7	4	6	4	5	19	4	6	5	5	20
16	3,3	3,2	3	3,1	5	5	4	5	19	6	5	4	5	20
17	2,7	3,4	3,7	3	3	5	7	4	19	3	5	8	4	20
18	2,4	3	3	2,5	3	6	6	4	19	3	6	6	5	20
19	3,2	3,3	2,9	2,4	6	6	4	3	19	6	7	4	3	20
20	2,2	3,4	2,8	2,4	3	8	5	4	20	3	8	5	4	20

### 5.3 Módulo de Interface

Este módulo é responsável pela interação do usuário com o sistema, através de comandos, menu e interface gráfica<sup>1</sup>, utilizando-se elementos de *hardware* e *software*.

Como já mencionado no módulo do usuário, o módulo de interface, inicialmente, apresenta um teste de múltipla escolha, o qual possibilitará a quantificação de algumas IMs do usuário (Inteligências: Lingüístico-verbal, Lógico-matemática, Visual-espacial e Cinestésico-corporal).

Após a realização do teste, as marcações são transferidas para o módulo do usuário, que as converte em notas, armazena o resultado e as envia para o módulo gerador de adaptação. Este módulo, como já explicado na seção anterior, realiza o processamento e fornece as informações para o módulo de interface de como deve ser apresentado o conteúdo para o usuário (que tipo de mídia para cada assunto do conteúdo) e o sistema, então, é “montado” para ele.

Após os testes de múltipla escolha, a primeira página que o usuário tem acesso é a página principal da interface, que não é objeto de adaptação. Nesta página se encontram o título, o menu (onde existem os links com os quais o usuário escolhe o assunto do conteúdo a ser visitado) e um botão “finalizar”.

O usuário escolhe um assunto, através do menu, e o visualiza na mídia (texto, desenho, fluxograma ou animação) definida pelo módulo gerador de adaptação. Independente da mídia de apresentação definida, além do assunto pertinente, encontram-se cinco botões: “mesmo assunto em texto”, “mesmo assunto em desenho”, “mesmo assunto em fluxograma”, “mesmo assunto em animação” e “retorno ao menu” (o botão referente à mídia apresentada fica inativo). Caso o usuário escolha uma mídia diferente daquela apresentada, o módulo de interface muda a mídia de apresentação. Concomitantemente, o módulo gerador de adaptação é acionado e a rede IAC, responsável pela adaptabilidade do sistema, modifica a quantidade de assuntos por mídia a ser apresentada, caso o seu estado de equilíbrio se modifique. Ocorrendo isto, o sistema é “remontado” para o usuário, porém, observa-se que os assuntos, já visitados anteriormente, e não alterados pelo usuário, nunca terão suas mídias modificadas. Todo este processo de adaptabilidade é transparente ao usuário.

---

<sup>1</sup> Interface gráfica: é um tipo de interface com o usuário em que a interação está baseada no amplo emprego de imagens, e não restrita apenas a textos ou caracteres, e que faz uso de um conjunto de ferramentas que inclui janelas, ícones, botões, e um meio de apontamento e seleção, como o *mouse*.

Quando o usuário clica no botão “finalizar”, localizado na página principal, o sistema é finalizado.

### **5.3.1 Implementação**

Para comprovar a metodologia desenvolvida foi implementada uma página adaptativa para a Internet. A título de demonstração, o tema escolhido foi a apresentação de um manual de operação de um monitor multiparamétrico da Dixtal.

O conteúdo do manual foi dividido em 20 assuntos diferentes e o acesso a estes assuntos é realizado através de um menu localizado na página principal.

Na realização desta implementação foram utilizados o programa desenvolvido em MatLab, que é responsável pela adaptação, e as linguagens de programação JSP e HTML usadas para o desenvolvimento das páginas. Devido ao uso de diferentes linguagens foi necessário o estabelecimento de uma “comunicação” entre os programas MatLab e JSP. Esta “comunicação” ou “sincronização” necessária para a troca de dados entre os dois programas, é realizada através de arquivos que são salvos no disco rígido. O Cap. 15 (RP/D-IEB-01/2004) apresenta tabela simplificada da comunicação.

Observa-se que a “comunicação” entre os programas é realizada quando o usuário finaliza a realização do teste das IMs e quando escolhe uma mídia diferente da apresentada, ou seja, quando o usuário intervém no sistema modificando a apresentação definida e quando finaliza o sistema.

Quando o usuário realiza o teste das IMs, os dados são enviados pelo programa JSP ao programa em MatLab para que este obtenha os valores de IM e determine as condições de apresentação ao usuário corrente (módulo do aluno). Já, quando o usuário intervém no sistema, o programa em MatLab novamente é acionado pelo programa em JSP, pois a rede IAC deve realizar o processamento.

A seguir é mostrado como a “comunicação” foi estabelecida entre os programas MatLab e JSP.

### 5.3.1.1 Processo de Sincronização do MatLab com o JSP.

É estabelecida a “comunicação” do programa em JSP e o MatLab, através dos seguintes procedimentos:

1. Inicialmente, quando o usuário acessa o site, ele realiza o teste das IMs. As opções do teste são armazenadas em um arquivo denominado **resultadoteste.txt**, salvo no disco rígido.
2. O MatLab “lê” o arquivo **resultadoteste.txt**, realiza o processamento dos dados obtidos e determina em quais mídias os assuntos devem ser apresentados.
3. O MatLab gerará um arquivo **midia.txt**, no disco rígido, que conterà a seqüência de mídias a serem apresentadas. O arquivo apresentará uma coluna com uma letra seguida do número da mídia (números crescentes de 01 a 20, pois são 20 “assuntos” ou arquivos a serem apresentados). As letras T são referentes aos arquivos em texto, D em desenho, L em lógica e A em animação.
4. O MATLAB também “cria” um outro arquivo ‘.txt’ denominado **ini\_html.txt**, no disco rígido, que “sinaliza” para o JSP que este deve ler o arquivo **midia.txt**. Este arquivo criado, só possui o nome, ou seja, não existe nada inserido nele, porque ele é usado apenas como um “sinalizador”.
5. O JSP verifica se existe o arquivo **ini\_html.txt** e, se existir, deve “ler” o arquivo **midia.txt** e “montar” a página com os arquivos definidos. Na elaboração da página, todos os 20 assuntos do conteúdo foram desenvolvidos em quatro mídias diferentes (texto, fluxograma, desenho e animação), ou seja, foram criados 20 arquivos em texto, 20 em desenho, 20 em lógica e 20 em animação.
6. Após a “leitura” do arquivo **midia.txt**, o arquivo **ini\_html.txt** é deletado através do JSP.
7. Quando o usuário estiver visualizando os assuntos da página, o JSP vai armazenando a seqüência de assuntos visitados por ele, porque já que se trata de um ambiente hipermídia, não há uma seqüência pré-determinada a ser seguida. Quando o usuário “mudar de idéia”, ou seja, quando ele “clicar” em algum dos botões referentes a outra mídia (diferente da apresentada), o JSP cria dois arquivos “.txt”: um com a seqüência de todos os arquivos visitados que

arquivo deverá ser complementado, na seqüência, com os novos arquivos visitados.

9. Com o surgimento do arquivo **escolhido.txt** o MatLab “sabe” que o usuário mudou de idéia e importa os dados dos arquivos **visitados.txt** e **escolhido.txt**.
10. O arquivo **escolhido.txt** é deletado e a rede neural do tipo IAC é processada novamente no MatLab. Após o processamento final da rede e o resultado obtido, o arquivo **midia.txt** é novamente criado e o processo se inicia novamente.
11. Quando o usuário clicar no botão “finalizar” da página que contém o menu é criado um arquivo vazio denominado **fim.txt** pelo JSP no disco rígido e o programa é encerrado.
12. Quando o MatLab verificar a existência do arquivo **fim.txt**, este é deletado.
13. O programa é encerrado, aparecendo no display do MatLab a mensagem FIM.

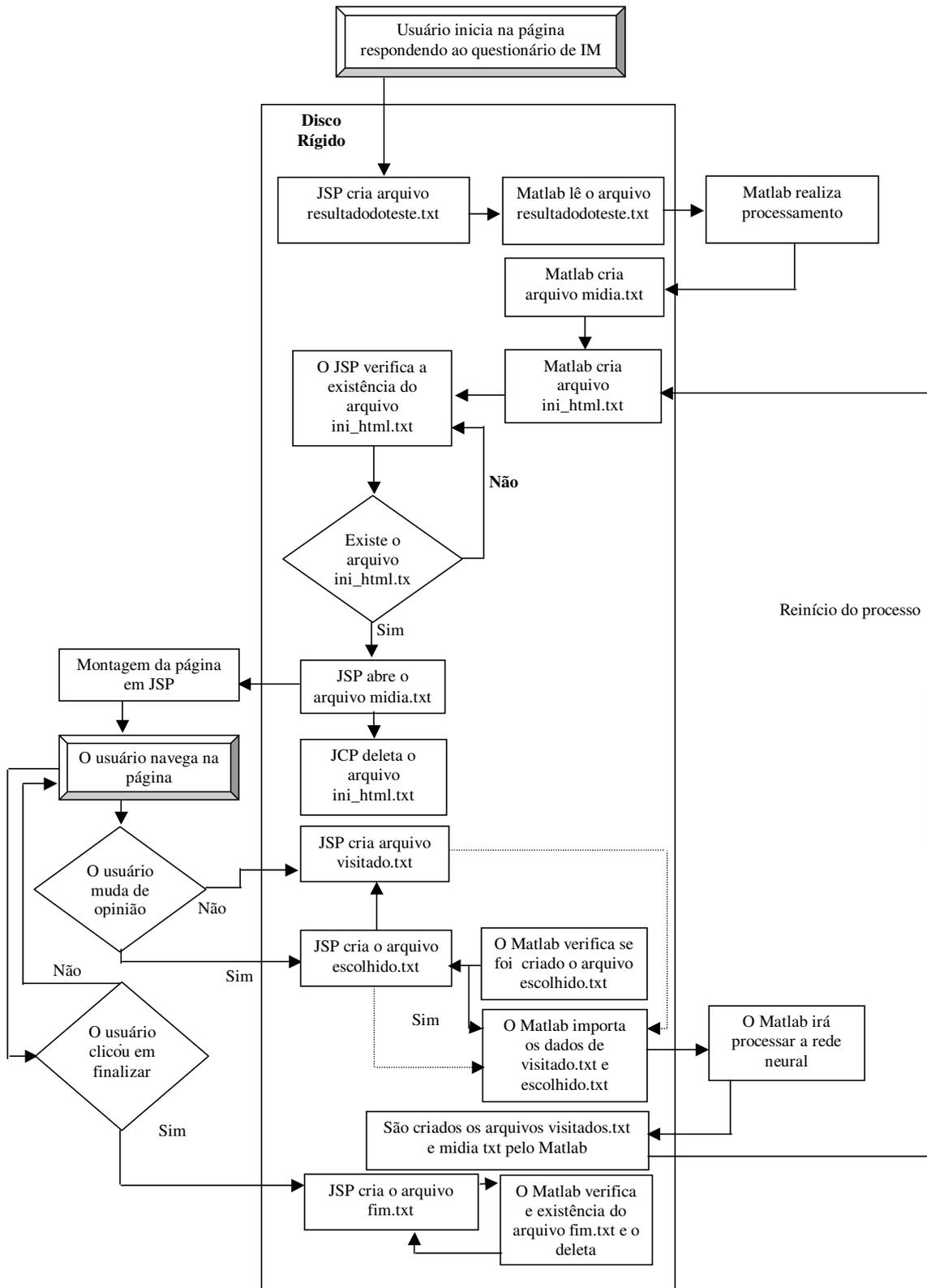


Figura 5.3.1 Comunicação entre o MatLab e o JSP.

### 5.3.1.2 Teste das IMs

Quando o usuário acessa a página, ele é informado sobre o tema do site e tem acesso ao sistema, como mostrado na Figura 5.3.2.



Figura 5.3.2 Página inicial do *site* do Manual de operação de um sistema de informação fisiológica.

O usuário, ao entrar no sistema e iniciar a navegação, realiza um teste de múltipla escolha (o teste da IMs), cujas perguntas foram definidas no módulo do usuário. Ao todo são 30 perguntas, com quatro alternativas cada. O usuário deve escolher apenas uma alternativa de cada pergunta e responder a todas elas.

Na Figura 5.3.3 é mostrada a primeira página de teste que é apresentada ao usuário. As respostas do teste são armazenadas em um arquivo `respostadoteste.txt`.

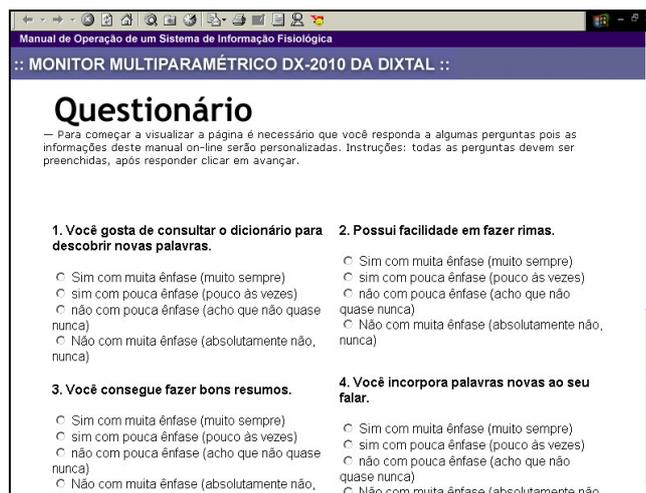


Figura 5.3.3 Teste de IM com perguntas de 1 a 4.

### 5.3.1.3 Divisão do Conteúdo

O *site* desenvolvido apresenta um manual de operação de Sistema de Informação Fisiológica DX-2010 da Dixtal Biomédica. O conteúdo do *site* foi obtido do

manual impresso que acompanha o equipamento.

O conteúdo do manual foi dividido em 20 partes (assuntos) principais. Para que o usuário possa ter acesso a estes assuntos, eles se encontram em um menu, presente na página principal. Através desta página é possível ter acesso ao conteúdo e finalizar a navegação. A Tabela 5.3.57 que mostra como o conteúdo foi dividido nos 20 assuntos.

Tabela 5.3.57 Divisão do conteúdo a ser apresentado.

<b><i>Divisão dos assuntos</i></b>	<b><i>Assunto</i></b>
<b>Assunto 1</b>	<b>Características</b>
<b>Assunto 2</b>	<b>Cuidados com o aparelho</b>
<b>Assunto 3</b>	<b>Painel traseiro</b>
<b>Assunto 4</b>	<b>Painel frontal</b>
<b>Assunto 5</b>	<b>Painel de controle</b>
<b>Assunto 6</b>	<b>Teclas de direção esc, (+), (-) e ajuda</b>
<b>Assunto 7</b>	<b>Tecla evento</b>
<b>Assunto 8</b>	<b>Tecla alarme</b>
<b>Assunto 9</b>	<b>Tecla congela, registro e NIBP</b>
<b>Assunto 10</b>	<b>Ecorder óptico rotacional</b>
<b>Assunto 11</b>	<b>Menu principal</b>
<b>Assunto 12</b>	<b>Configurando o aparelho</b>
<b>Assunto 13</b>	<b>Configurando o alarme</b>
<b>Assunto 14</b>	<b>Alarmes visuais e sonoros</b>
<b>Assunto 15</b>	<b>Configuração de tela</b>
<b>Assunto 16</b>	<b>Procedimento de configuração de tela</b>
<b>Assunto 17</b>	<b>Configurando lembretes</b>
<b>Assunto 18</b>	<b>Configurando registros</b>
<b>Assunto 19</b>	<b>Configurando tabela</b>
<b>Assunto 20</b>	<b>Configurando evolução</b>

A Figura 5.3.4 apresenta uma visão geral dos tópicos presentes no menu e onde se localizam os *links* (itens sublinhados e com letras itálicas).

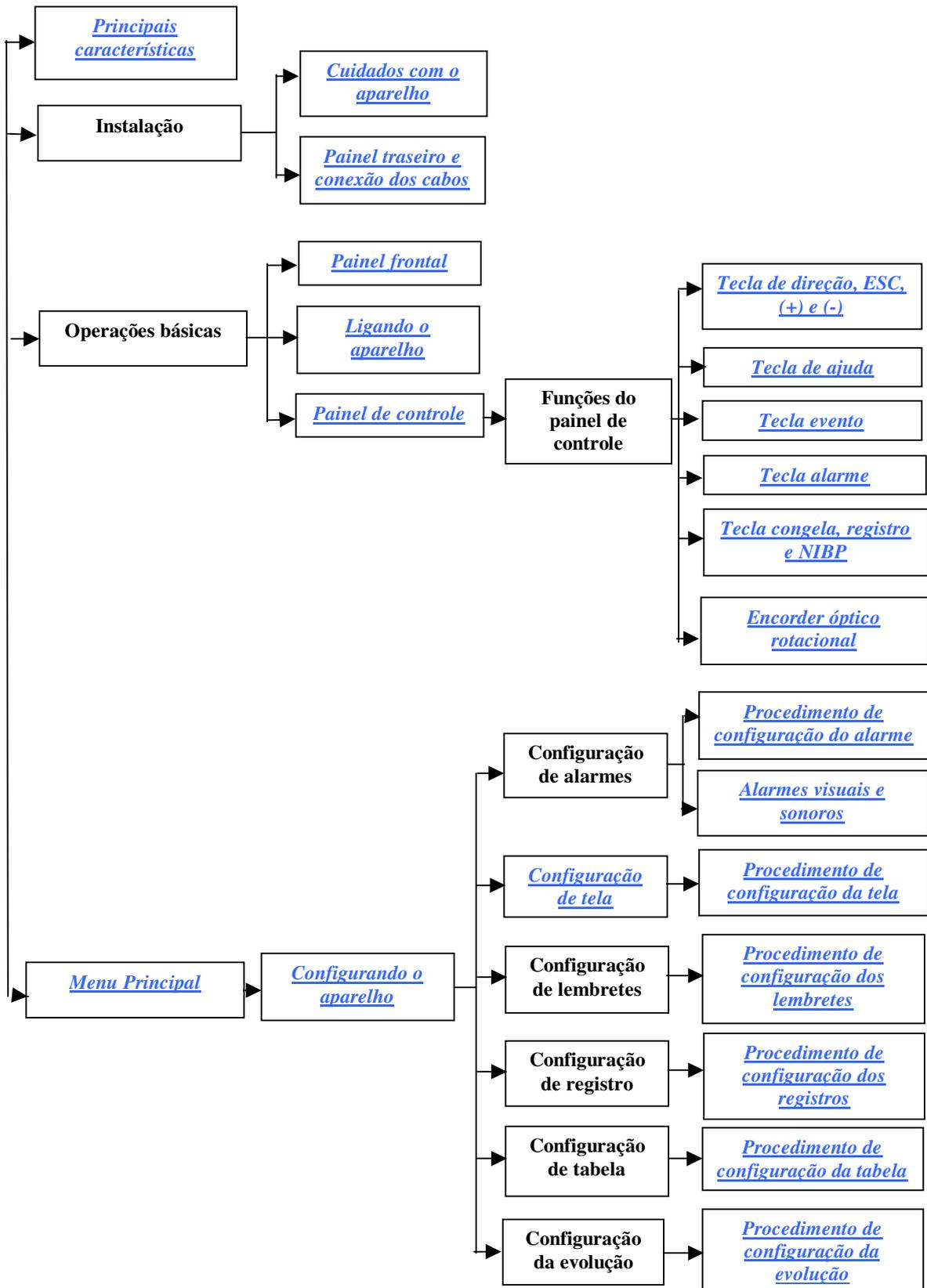


Figura 5.3.4 Representação do menu principal.

Na Figura 5.3.5 é apresentada a tela principal, que contém o menu.

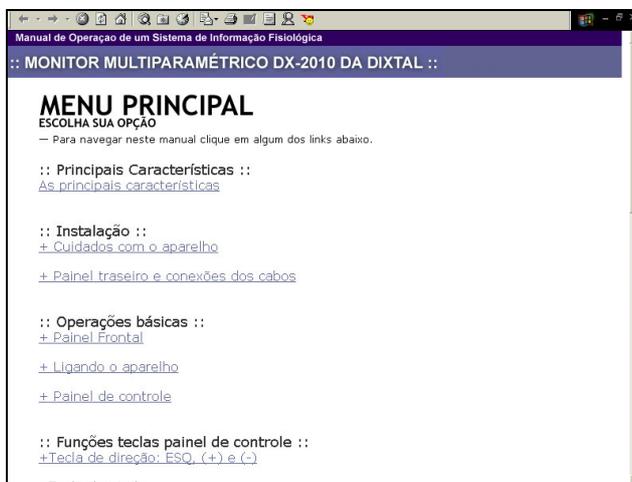


Figura 5.3.5 Página principal com menu

### 5.3.1.4 Elaboração das Diferentes Mídias

Estudos bibliográficos (AMSTRONG & GARDNER, 2001; ANTUNES, 1998; ANTUNES, 1998, 2001a, 2001b, 2001c, 2002; CAMPBELL, 2000; GAMA, 1998; GARDNER, 2001) registram algumas atividades que são utilizadas para o estímulo e desenvolvimento das Inteligências Múltiplas, conforme apresentado na Tabela 5.3.58.

Tabela 5.3.58 Resumo das características, atividades propícias ou ações estimuladoras para o desenvolvimento das Inteligências Múltiplas (modificado de SALDIAS, 2002).

Inteligência Múltipla	Características do indivíduo	Atividades propícias ou ações estimuladoras
Lingüístico-verbal	Capacidade de se expressar usando a linguagem e aprender através da escuta, leitura, escrita e discussão. O indivíduo lê, fala e escreve eficientemente, memoriza o que foi ouvido ou falado.	Utiliza atividades que contenham discussões, <b>texto</b> , som falado e possibilitem contar histórias, realizar discussões ou comunicações verbais.
Lógico-matemática	Capacidade de manipular números, conceitos abstratos e de resolver problemas lógicos. Suscita e testa hipóteses e usa símbolos para representar objetos ou conceitos.	Utilizam atividades que contenham exercícios, jogos lógicos, quebra-cabeças. Atividades que possibilitem resolução de problemas, previsão e verificação de resultados lógicos. Estimulam a realização de classificações, analogias, gráficos, <b>fluxogramas</b> e códigos em pesquisa e observações.

Visual-espacial	Capacidade de formar um modelo mental de um mundo espacial e de ser capaz de fazer manipulações utilizando-se deste modelo. Aprende através da observação (fisionomia, formas, cores, cenas, etc.) e pensa através de imagens.	Utiliza atividades que proporcionem estímulos visuais, comunicação não verbal. As representações gráficas, mapas conceituais, o uso de <b>cores, formas, desenhos</b> e realidade virtual são bastante interessantes.
Cinestésico-corporal	Capacidade de resolver problemas ou elaborar produtos utilizando o corpo ou partes do corpo. Ser sensível a ambientes e sistemas físicos. Prefere atividades onde se integre o corpo e a mente. Aprende melhor fazendo do que ouvindo.	Utiliza atividades que possibilitem observações espaciais na tela, <b>animações</b> e realidade virtual. Atividades que envolvam simulações, dramatizações, jogos de associação espacial são bastante envolventes, assim como teclados e mouses quando se utiliza PCs.

Com estas informações foram definidas as possibilidades de apresentação do conteúdo para as IMs consideradas, utilizando-se mídias possíveis de serem apresentadas através de um computador.

A seguir são expostas as mídias utilizadas para cada IM considerada.

### *INTELIGÊNCIA LINGÜÍSTICO-VERBAL*

Todos os 20 assuntos (divisão do conteúdo) foram desenvolvidos em texto. As páginas possuem fundo branco, a maioria das letras é preta, sendo que algumas delas possuem cores diferentes, para destacar a informação. A Figura 5.3.6 apresenta um assunto na mídia texto.



Figura 5.3.6 Página com assunto projetado na mídia texto

### *INTELIGÊNCIA LÓGICO-MATEMÁTICA*

Foram utilizados fluxogramas para a apresentação dos 20 assuntos. Para o entendimento do que está sendo representado o usuário necessita de uma capacidade

lógica, motivando, portanto, os indivíduos com a IM lógico-matemática mais desenvolvida.

As páginas para a IM lógico-matemática possuem fundo branco e os textos das caixas do fluxograma são pretos se não forem *links* e azul, caso sejam.

Esta mídia possui diversos *links* “internos” dentro de um assunto, possibilitando sua melhor apresentação, devido ao fato de alguns assuntos não caberem em uma única página. Cabe observar que o conteúdo de um assunto sempre é o mesmo em todas as mídias.

A Figura 5.3.7 mostra as características do aparelho através de fluxograma.

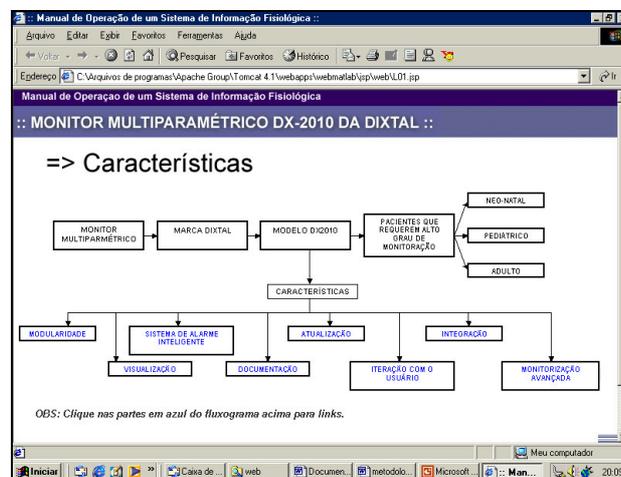


Figura 5.3.7 Página com assunto projetado na mídia lógica.

A Figura 5.3.8 apresenta uma página integrante do assunto características, sendo esta página é acessada por *link* “interno”.

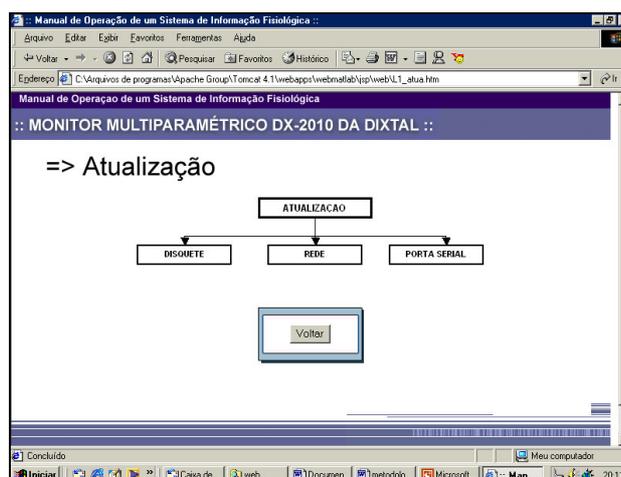


Figura 5.3.8 Página da mídia lógica. Esta página é integrante do assunto características (link interno).

## INTELIGÊNCIA VISUAL-ESPACIAL

As 20 páginas desta inteligência foram projetadas utilizando-se figuras, desenhos e fotos. Algumas figuras foram retiradas de *sites* na Internet, inclusive o da Dixtal, outras do próprio manual do equipamento; as fotos foram tiradas com uma câmara digital no laboratório do IEB, onde se localizava um monitor multiparamétrico. Todas as páginas possuem fundo branco e apresentam muitas cores nas letras, desenhos, figuras e fotos.

Na Figura 5.3.9 podem ser vistas as características do aparelho para a IM Visual-espacial. A Figura 5.3.10 apresenta uma página integrante do assunto características na mídia desenho, porém esta página é acessada por *link* “interno” presente na página características.



Figura 5.3.9 Página com assunto projetado na mídia desenho.



Figura 5.3.10 Página da mídia desenho. Esta página é integrante do assunto características (link interno).

## INTELIGÊNCIA CINESTÉSICO-CORPORAL

Para esta inteligência os assuntos foram projetados utilizando-se fotos, animações e vídeos (sempre há algum movimento na tela). Muitas animações foram obtidas em *sites* da Internet.

Os vídeos foram gravados no IEB utilizando-se uma câmara fotográfica digital. A edição destes vídeos foi realizada com o *software VideoImpression* da Arcsoft, versão 1.6.3Bp.1, que acompanha a máquina.

Com este *software* foi possível editar os vídeos, organizando as imagens gravadas em qualquer seqüência e realizando cortes, retirando as partes indesejadas. Efeitos especiais de transição e de texto também puderam ser adicionados aos arquivos, pois a fonte, o tamanho e a cor do texto podem ser selecionados e colocados em qualquer lugar na imagem. Os vídeos criados podem ser gravados em formato AVI, MPEG-1, ou em *ArcSoft VideoImpression*.

A Figura 5.3.11 mostra a mídia animação, referente à Inteligência Cinestésico-corporal A Figura 5.3.12 apresenta um *link* “interno” do assunto característica.



Figura 5.3.11 Página com assunto projetado na mídia animação.

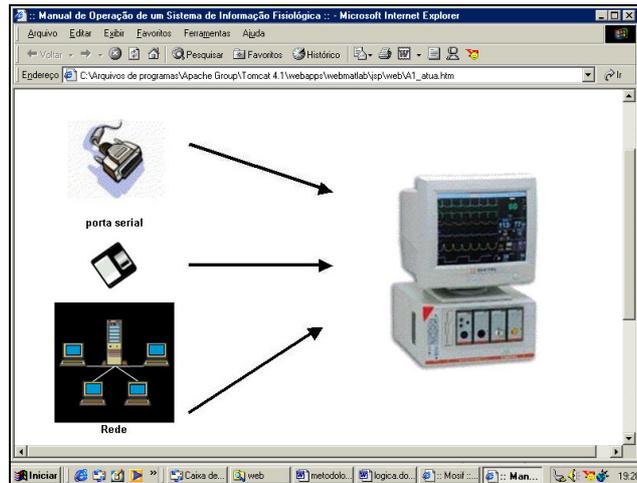


Figura 5.3.12 Página da mídia animação. Esta página é integrante do assunto características (link interno).

### 5.3.2 Validação do Sistema Adaptativo

Esta subseção vai apresentar um teste realizado para validar o sistema adaptativo completo. Quando o usuário utiliza o sistema, muitas alterações que ocorrem são transparentes para ele, porém são realizados processamentos das informações geradas pelas suas decisões e muitas mudanças “internas” são determinadas, sendo estas demonstradas nesta validação.

Para realização da validação do sistema são utilizadas, como dados iniciais, algumas respostas do teste de múltipla escolha que foram realizados com voluntários (projeto aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFSC). São obtidos os valores numéricos de cada IM utilizando o método de Celso Antunes, depois as respostas das questões que são apresentadas no sistema adaptativo (questões determinadas pelo método de podas de nós) são separadas e processadas (rede neural MLP). As respostas obtidas pelo método do pedagogo e geradas pelo sistema podem ser comparadas e o erro obtido.

Essas notas obtidas pelo sistema são processadas por outra rede MLP e as quantidades de mídias são definidas. Este resultado é utilizado na matriz de conhecimento da rede IAC que é também processada. Após outros processamentos, citados anteriormente, as mídias são estabelecidas. No teste serão simuladas as “visitas” do usuário a determinados assuntos e mudança de escolha da mídia apresentada. Novos resultados da rede neural são gerados e nova seqüência de mídia é determinada e conferida.

A seguir todos os passos de um indivíduo serão descritos e resultados com mais indivíduos podem ser encontrados no Cap.17 (RP/D-IEB-01/2004).

A Tabela 5.3.2.59 apresenta o resultado das marcações reduzidas do teste de múltipla escolha que são utilizadas na determinação das IMs Lingüística-verbal, Lógico-matemática, Visual-espacial e Cinestésico-corporal, pela rede neural MLP com podas de nós. Na coluna 1 é apresentado o número do questionário (numeração utilizada no site); na 2 o número da pergunta do teste original; nas 3, 4, 5 e 6 as marcações; na 7 a seqüência de dados que são utilizadas na rede MLP e na 8 o valor de conversão.

Na Tabela 5.3.2.60 são apresentados os valores calculados pelo método original (com todas as perguntas) e obtidas pela rede neural MLP (com podas de nós), as notas que são ativadas e as quantidade geradas pela rede IAC e, a regra, quando necessário, para corrigir os valores resultantes da rede.

Tabela 5.3.2.59 Marcações reduzidas do teste de múltipla escolha para determinação das IMs.

ítem	Perg.	S	s	n	N			
01	4		X			0,75	s	01s
02	12			X		0,50	n	02n
03	13			X		0,50	n	03n
04	17		X			0,75	s	04s
05	19		X			0,75	s	05s
06	20			X		0,50	n	06n
07	1			X		0,50	n	07n
08	2		X			0,75	s	08s
09	4			X		0,50	n	09n
10	5			X		0,50	n	10n
11	8		X			0,75	s	11s
12	9		X			0,75	s	12s
13	14			X		0,50	n	13n
14	16			X		0,50	n	14n
15	18			X		0,50	n	15n

ítem	Perg.	S	s	n	N			
16	4		X			0,75	s	16s
17	6		X			0,75	s	17s
18	8		X			0,75	s	18s
19	10		X			0,75	s	19s
20	11		X			0,75	s	20s
21	15		X			0,75	s	21s
22	16		X			0,75	s	22s
23	19			X		0,50	n	23n
24	1		X			0,75	s	24s
25	2		X			0,75	s	25s
26	3		X			0,75	s	26s
27	4		X			0,75	s	27s
28	10			X		0,50	n	28n
29	14		X			0,75	s	29s
30	16		X			0,75	s	30s

Tabela 5.3.2.60 Valores obtidos do teste de múltipla escolha e das redes neurais.

	IM1	IM2	IM3	IM4
real	2,7	3,4	3,6	2,6
calculado	2,8	3,3	3,3	2,7
nota IAC	2,8	3,3	3,2	2,7
mídias	<b>Texto</b>	<b>Lógica</b>	<b>Desenho</b>	<b>Animação</b>
Quant. IAC	4	6	6	3
regra	4	7	6	3

O erro da IM1 foi de 7,69%, da IM2 foi de 4,16% e das IM3 e IM4 foram de 0, entre o valor do teste completo e a resposta da rede MLP para o teste reduzido

Tabela 5.3.2.61 Descrição das mídias a serem apresentadas e a atuação do usuário (mídias visitadas e escolhidas) nas diversas iterações.

1ª Iteração			2ª Iteração			3ª Iteração			4ª Iteração			
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9	Coluna 10	Coluna 11	Coluna 12	Coluna 13
Mídia	Visitado	escolhido	Mídia	Visitado	escolhido	Mídia	Visitado	escolhido	Mídia	Visitado	escolhido	Mídia
D01			A01	A01		A01			A01			A01
T02	T02		T02			T02			T02			T02
A03			D03	D03		D03			D03			D03
L04	L04		L04			L04			L04			L04
L05			L05			D05			L05	L05		L05
L06	L06	T06	T06			T06			T06			T06
D07	D07		D07			D07			D07			D07
D08	D08		D08			D08			D08			D08
D09	D09		D09			D09			D09			D09
D10			A10			A10	A10		A10			A10
T11			D11	D11		D11			D11			D11
D12			T12			T12	T12		T12			T12
A13			L13	L13		L13			L13			L13
A14			A14			T14			L14	A14		A14
T15			T15			A15	A15		A15			A15
L16			T16	T16	D16	D16			T16	T16		T16
T17			D17			L17	L17		L17			L17
L18			L18			D18	D18	T18	T18			T18
L19			L19			L19			D19	D19	L19	L19
L20			D20			L20			L20			L20

Tabela 5.3.2.62 Resultados da ativação da rede neural IAC e correção por regra nas iterações.

	1ª Iteração				2ª Iteração				3ª Iteração				4ª Iteração			
	6	4	5	5	4	4	7	5	3	5	6	6	2	4	7	7
escolha	4		6		3			6		4	7		3		6	
nota IAC	2.8	2.8	3.2	3	1.4	2.1	2.2	2.3	1.2	1.8	2.6	2.5	1.4	2.1	2.2	2.3
IAC	4	4	6	5	3	5	6	6	2	4	7	7	3	5	6	6
regra	4	4	7	5	3	5	6	6	2	4	7	7	3	5	6	6

Na Tabela 5.3.2.61 foram definidas as mídias a serem apresentadas nos diversos assuntos, sendo 6 deles apresentados em texto, 4 em lógica, 5 em desenho e 5 em animação (coluna 1 - Mídia). O usuário teve acesso aos assuntos/mídias: A01, T02, A03, D07, T11, A12, A13, D19 e T17 (não necessariamente nesta ordem – coluna 2 Visitados), ao acessar o assunto 17 em texto (T17), ele não quis a apresentação definida e escolheu visualizar o mesmo assunto em desenho (D17 – coluna 3 - Escolhido). A partir da escolha do usuário a rede neural IAC será ativada (1ª iteração, Tabela 5.3.2.62) com ativações do neurônio 6 no *pool* mídia desenho (5 +1, ativação anterior mais 1 pela escolha atual) e neurônio 4 no *pool* mídia texto (5 – 1, ativação anterior (sem regra) menos 1 da recusa atual). A rede IAC gera como resposta novas notas e novas quantidades, sendo estas: 4 para mídia texto, 4 para lógica, 6 para desenho e 5 para animação. Como a soma das quantidades de mídias não é 20 e sim 19, houve correção através de regra e as novas quantidades foram: 4 para mídia texto, 4 para lógica, 7 para desenho e 5 para animação. Com estes valores as mídias são novamente geradas (coluna 4, 2ª Iteração – Mídias, Tabela 5.3.2.61) pelo sistema.

Observa-se que na seqüência de mídia apresentada, todos os assuntos visitados anteriormente e que foram “aceitos” com a mídia apresentada, são mantidos com esta mesma mídia e, o que foi escolhido fica fixado pela mídia escolhida. Na segunda iteração, o usuário retorna em assuntos já visitados anteriormente e que foram aceitos na mídia escolhida, mas desta vez em um deles, modifica a escolha da mídia. A rede IAC novamente é processada e, conforme explicado anteriormente, novas quantidades são obtidas. Desta vez, sem necessidade da atuação da regra, as mídias são geradas, permanecendo sempre iguais as anteriores visitadas e aceitas, e a escolhida. Este processo é repetido até o usuário sair do sistema.

Na validação do sistema adaptativo, o sistema apresentou respostas adequadas.

## **6. INTERFACE ADAPTATIVA ATRAVÉS DE SISTEMAS FORMAIS**

Uma definição teórica de hipertexto é apresentada em trabalhos de Pagano (PAGANO & BARRETO 1989, 1990, 1991, 1992). Segundo a autora o hipertexto era apresentado dentro da perspectiva teórica como um grafo<sup>2</sup>, como uma rede semântica<sup>3</sup> ou como rede de Petri<sup>4</sup>. A maioria destas abordagens, no entanto, não incorporava todas as características do hipertexto, sendo formalismos de natureza declarativa que não consideravam os aspectos dinâmicos do hipertexto (ALMEIDA, 2002).

Pagano (1992) desenvolveu, então, um modelo formal de hipertexto ou hipermídia fundamentado na Teoria de Autômatos, incorporando não apenas os aspectos declarativos do sistema, mas também os aspectos dinâmicos (a evolução no tempo do autômato em resposta a qualquer seqüência de entrada de dados).

A introdução de características dinâmicas aumenta as possibilidades do hipertexto (ou hipermídia) em ambientes de aprendizagem computadorizados. Portanto, segundo Pagano e Barreto (1991), um sistema computacional denominado hipertexto pode ser convenientemente definido como autômato.

O modelo de hipertexto como autômato, desenvolvido por Pagano (1992), foi ampliado por Almeida (1999) e denominado Hipertômato. Este modelo ampliado incluiu os recursos hipermídia e sua utilização em redes de computadores na concepção de vários ambientes de ensino. Os grafos de implementações do Hipertômato podem mudar conforme o ambiente a ser concebido.

Almeida (2002), dando prosseguimento ao trabalho de Pagano (1992) e a seu trabalho anterior, incluiu a Teoria das Categorias na modelagem das características da hipermídia no ensino via redes de computadores.

Saldias (2002) também utilizou autômatos para modelar Sistemas Tutores Inteligentes (STI). A formalização matemática de STI surgiu da necessidade de se dispor de um vocabulário matemático para descrever os componentes da proposta da autora, de forma a facilitar a sua apresentação.

---

<sup>2</sup> O grafo é uma representação gráfica das relações existentes entre elementos de dados.

<sup>3</sup> Rede semântica é um nome utilizado para definir um conjunto heterogêneo de sistemas. Em última análise, a única característica comum a todos estes sistemas é a notação utilizada: uma rede semântica consiste em um conjunto de nodos conectados por um conjunto de arcos.

<sup>4</sup> Uma rede de petri (RP) é uma quádrupla  $(P, T, F, M_0)$  onde P é um conjunto de lugares, T um conjunto de transições, F um conjunto de arcos e  $M_0$  a marcação inicial dos lugares.

Neste trabalho, mostra-se que interfaces adaptativas também podem ser formalizadas como autômatos. Esta formalização permitiu uma concepção do mecanismo de adaptação usando redes neurais artificiais em sua implementação, já que estas são sistemas dinâmicos, conforme provado por De Azevedo (1993, 1997).

## 6.1 Conceitos básicos da Teoria dos Autômatos

Em um sistema dinâmico (Equação 6.1) mostra-se um sistema como se descrevesse o mecanismo de como ele trabalha (internamente), especificando como o conjunto dos estados varia com o tempo (BARRETO, 2002). Tal descrição é suficiente para gerar uma definição comportamental.

### Definição de um Sistema Dinâmico:

Um sistema dinâmico é um objeto matemático descrito como:

$$S = \{T, U, \psi, Y, \Lambda, X, \lambda, \eta\} \quad (6.1)$$

Onde:

T é o conjunto dos tempos;

U é o conjunto dos valores de entrada;

$\Psi$  é o conjunto das funções de entrada  $\omega \in \Psi = \{ \omega: T \rightarrow U \}$ ;

Y é o conjunto dos valores da saída;

$\Lambda$  é o conjunto das funções de saída  $\gamma \in \Lambda = \{ \gamma: T \rightarrow Y \}$ ;

X é o conjunto dos estados;

$\lambda$  é a função de transição dos estados:  $\lambda: T \times T \times X \times \Psi \rightarrow X$

$\eta$  é a função da saída:  $\eta: T \times X \times U \rightarrow Y$

A noção de sistema dinâmico corresponde a um sistema funcional 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.

Observa-se que se a função de transição depende somente de um elemento de T, significa que o valor de estado não depende do tempo inicial nem do tempo considerado, mas somente do intervalo de tempo entre o tempo inicial e o tempo considerado. Neste caso, para qualquer tempo inicial, somente a duração do experimento é importante para determinar o estado e a saída em qualquer instante.

Nota-se que um autômato, em Ciência da Computação, pode ser considerado uma máquina de estados finitos, sendo esta um sistema dinâmico onde o conjunto dos

tempos é o conjunto dos inteiros, a entrada, a saída e os estados, são conjuntos finitos. Neste caso, 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 (BARRETO, 2002).

Um autômato pode ser considerado, portanto, uma particularização de um sistema dinâmico e, neste caso, apenas o intervalo de tempo entre o tempo inicial e o tempo considerado será analisado (sistema dinâmico invariante e discreto no tempo).

**Definição de um Autômato:**

Um autômato (ou máquina) é descrito abstratamente como uma sêxtupla:

$$A_t = \{U, Y, X, x_0, \lambda, \eta\} \quad (6.2)$$

Onde:

$U$  é o conjunto finito de entradas;

$Y$  é o conjunto finito de saídas;

$X$  é o 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 função da próxima saída.

Observa-se que quando o espaço de estado é um conjunto finito, o autômato é chamado de autômato finito.

Desta forma, esta sêxtupla formal representada é interpretada como sendo uma descrição matemática de uma máquina a 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  $\eta(x,u)$  (BARRETO, 2002).

## 6.2 Interface adaptativa como autômato

Uma interface adaptativa introduz características dinâmicas na apresentação de conteúdos em sistemas computacionais. Esta adaptação e, conseqüente dinamismo, busca uma melhor eficácia e eficiência do que está sendo apresentado ao usuário.

A interface adaptativa de um sistema computacional pode ser definida como um autômato. Será apresentada a seguir uma definição geral de interface adaptativa como autômato e, uma particularização, para este trabalho.

$$I_a = \{U, Y, X, x_0, \lambda, \eta\} \quad (6.3)$$

Onde:

$U$  é o conjunto finito de entradas;

$Y$  é o conjunto finito de saídas;

$X$  é o 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 função da próxima saída.

Em interface adaptativa pode-se considerar como o conjunto finito de entradas as informações obtidas do usuário, através da “comunicação” deste com o sistema, utilizando-se de periféricos adequados (teclado, *mouse* e outros).

Nesta metodologia implementada o conjunto de entrada pode ser representado pelas interações que o usuário realiza com o sistema como: respostas do teste que avalia as IM do usuário, escolha do assunto a ser visualizado e escolha de uma mídia diferente da apresentada pelo sistema.

O aspecto dinâmico da interface adaptativa conduz ao conceito de estado. Na interface adaptativa todas as possibilidades diferentes de apresentação representam o conjunto de estado finito.

O conjunto de estado finito nesta interface adaptativa representa todas os assuntos desenvolvidos nas diferentes mídias. Como o conteúdo foi dividido em 20 assuntos e cada assunto foi projetado nas quatro mídias, o conjunto de estado é um conjunto com 80 elementos, representado por:  $X = \{T1, L1, D1, A1, T2, L2, D2, A2, T3, L3, D3, A3, T4, L4, D4, A4, T5, L5, D5, A5, T6, L6, D6, A6, T7, L7, D7, A7, T8, L8, D8, A8, T9, L9, D9, A9, T10, L10, D10, A10, T11, L11, D11, A11, T12, L12, D12, A12, T13, L13, D13, A13, T14, L14, D14, A14, T15, L15, D15, A15, T16, L16, D16, A16, T17, L17, D17, A17, T18, L18, D18, A18, T19, L19, D19, A19, T20, L20, D20, A20\}$ <sup>5</sup>.

O estado inicial  $x_0 \in X$  em interface adaptativa é a definição inicial de apresentação da interface. Esta definição inicial é obtida das características iniciais dos usuários. Nesta particularização,  $x_0$  representa a definição inicial de como serão apresentados os assuntos ao usuário (adaptatividade) e as características do usuário são obtidas através das respostas do teste de IM.

Pode-se definir como  $X_0$  o conjunto de todos os estados iniciais possíveis sendo,

---

<sup>5</sup> T1 indica que o assunto 1 é apresentado na mídia texto, L1 o assunto 1 é apresentado na mídia lógica, D1 o assunto 1 é apresentado na mídia desenho, A1 o assunto 1 é apresentado na mídia animação e assim, sucessivamente. A letra representa a mídia a ser apresentada e o número se refere ao assunto.

portanto, um subconjunto de todos os estados possíveis ( $x_0 \in X_0 \subset X$ ).

Na interface adaptativa a função de transição  $\lambda$  é uma função que conduz o sistema de um estado a outro, segundo uma definição dos dados de entrada gerada pelo usuário.

A função de transição  $\lambda$ , nesta interface adaptativa, é realizada pela rede IAC, que reflete o conhecimento do especialista, a memória do estado anterior e a preferência do usuário. O usuário visualiza a mudança de transição de estados apenas quando modifica a mídia, sendo que o restante das alterações das mídias dos assuntos é transparente para ele.

A função de saída do próximo estado  $\eta$  processa os valores definidos pela função de transição  $\lambda$  e define a nova condição de apresentação da interface. Neste caso específico, a função de saída do próximo estado  $\eta$  vai definir as mídias que serão apresentadas em cada assunto.

O conjunto finito de saída  $Y$  de uma interface adaptativa inclui todas as formas de representação da informação que poderão ser visualizadas pelo usuário na tela. Nesta interface adaptativa, um elemento do conjunto finito de saída ( $Y_1$ ) especifica em que mídia cada assunto será apresentado.

Com o objetivo de esclarecer melhor o conceito de interface adaptativa como autômato serão apresentados, a seguir, alguns exemplos.

**Exemplo 1:** Considera-se o caso particular de um indivíduo que acesse o sistema adaptativo e que realize o teste de múltipla escolha (elementos do conjunto de entradas  $U$ ), o qual possibilitará a obtenção dos valores numéricos de suas IMs (serão avaliadas apenas 4 IMs das 8 atualmente classificadas). Os valores das notas são obtidos através do processamento da rede MLP. Considere, por exemplo, que as notas do indivíduo fornecidas pela MLP sejam 2,6 para IM Lingüística-verbal; 3,1 para Lógico-matemática; 2,4 para Visual-espacial e 1,5 para Cinestésico-corporal.

O conjunto de estados é representado por  $X = \{T1, L1, D1, A1, T2, L2, D2, A2, T3, L3, D3, A3, T4, L4, D4, A4, T5, L5, D5, A5, T6, L6, D6, A6, T7, L7, D7, A7, T8, L8, D8, A8, T9, L9, D9, A9, T10, L10, D10, A10, T11, L11, D11, A11, T12, L12, D12, A12, T13, L13, D13, A13, T14, L14, D14, A14, T15, L15, D15, A15, T16, L16, D16, A16, T17, L17, D17, A17, T18, L18, D18, A18, T19, L19, D19, A19, T20, L20, D20, A20\}$ . O estado inicial  $x_0$  será determinado pelo resultado da rede MLP e por um pós-processamento. Para este indivíduo em particular  $x_0 = \{T1, A2, L3, L4, L5, T6, D7, D8,$

T9, L10, A11, T12, L13, D14, T15, D16, L17, D18, L19, L20}. O conjunto  $x_0$  contém 5 mídias em texto, 8 em lógica, 5 em desenho e 5 em animação.

O usuário escolhe um assunto a ser visitado no menu (elemento do conjunto U), por exemplo, o assunto 10 e, ao entrar neste assunto vai visualizá-lo em lógica. Porém suponhamos que ele não aceite a sugestão do sistema e opte pela mídia animação clicando no botão de navegação correspondente (elemento do conjunto U).

A função de transição de estados leva a um novo estado. Os neurônios 7 do *pool* mídia lógica e 3 do *pool* mídia animação serão excitados na rede IAC, a qual fornecerá como resposta 5T, 7L, 5D, 3A que corresponde a um novo estado.

A seguir a função de saída gera a resposta para o conjunto finito de saída  $Y1 = \{A1, T2, L3, T4, L5, D6, T7, L8, T9, \mathbf{A10}, L11, T12, D13, L14, D15, L16, D17, A18, L19, D20\}$ .

Caso o indivíduo acesse outro assunto e novamente ele escolha outra mídia diferente da apresentada, novamente ocorre o processo descrito anteriormente, sendo que o Y anterior passará a ser considerado o estado atual. O assunto 10 sempre será apresentado em animação nas próximas interações, pois foi a primeira escolha do processo.

Uma representação gráfica do Autômato Interface adaptativa é apresentada na Figura 6.1. Nela é apresentada a entrada inicial do sistema ( $x_0$ ) definida pelas redes MLPs que processam os dados fornecidos pelo usuário no preenchimento do teste de múltipla escolha e são apresentadas as mídias definidas (função de saída – Y1). Quando o usuário intervém no sistema (U), a rede neural IAC é processada (função de transição de estado) e as mídias são redefinidas (função de saída – Y1). Este processo é repetido sucessivamente caso o usuário continue modificando a forma de apresentação estabelecida para ele.

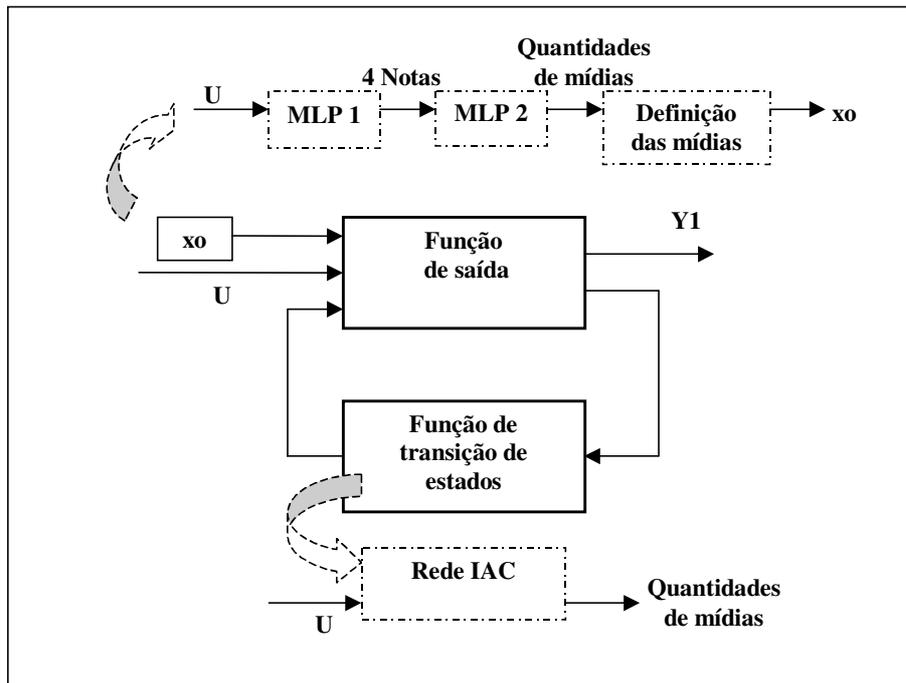


Figura 6.1 Representação gráfica do Hiperímia adaptativa como autômato.

Uma outra forma de representação da interface adaptativa como autômato pode ser realizada utilizando-se de uma tabela de transição de estados e grafos. Uma representação simplificada será apresentada a seguir.

**Exemplo 2:** Na tabela de transição de estados as alterações ocorridas vão representar a escolha do usuário, as estratégias aplicadas (estratégia pedagógica definida pelo especialista) e a nova situação de apresentação do conteúdo, considerando o estado atual. A Equação 6.4 novamente representa a Interface como autômato.

$$I_a = \{U, Y, X, x_o, \lambda, \eta\} \quad (6.4)$$

Onde:

U é o conjunto finito de entradas. Na Tabela 6.1 são apresentadas as possíveis escolhas do usuário, sendo que esta é representada em uma seqüência de quatro dígitos, onde o primeiro dígito corresponde à escolha da mídia texto, o segundo lógica, o terceiro desenho e o quarto animação. O dígito 0 significa que não houve alteração nesta mídia, o 1 que a mídia foi escolhida e o -1 que a mídia foi rejeitada.

Tabela 6.1 Condições de algumas entradas (seleção do usuário)

<b>Entrada</b>	<b>Seleção do usuário</b>
0000	Não modificou nenhuma mídia
1-100	Escolheu texto e recusou lógica
10-10	Escolheu texto e recusou desenho
100-1	Escolheu texto e recusou animação
-1100	Recusou texto e escolheu l
01-10	Escolheu lógica e recusou desenho
010-1	Escolheu lógica e recusou animação
-1010	Recusou texto e escolheu desenho

$U = \{0000, 1-100, 10-10, 100-1, -1100, 01-10, 010-1, -1010, 0-110, 001-1, -1001, 0-101, 00-11\}$

$Y$  é o conjunto finito de saídas.  $Y = \{A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, \dots\}$

$X$  é o conjunto de estados ou espaço de estado.  $X = \{A, B, C, D, E, F, \dots\}$

$x_0 \in X$  é o estado inicial, que pode ser A, B, C, D, Y1, Y2,...

Neste caso,  $x_0 = A = \{T1, L2, D3, L4, T5, D6, L7, A8, D9, T10, A11, D12, L13, L14, T15, L16, D17, T18, L19, L20\}$ , sendo que T representa texto, L lógica, D desenho e A animação. Possuindo 5 assuntos apresentados na mídia texto, 8 na lógica ou fluxograma, 5 em desenho e 2 em animação.

$\lambda: U \times X \rightarrow X$  é a função de próximo estado ou função de transição. Será representado por  $abcd$ . Onde  $a, b, c$  e  $d$  são variáveis que podem variar de 0 a 17, que representam as quantidades de mídias.

$\eta: U \times X \rightarrow Y$  é função da próxima saída. Fornece como resposta um elemento de  $Y$  a ser apresentado.

Alguns valores das funções  $\lambda$  e  $\eta$  são exemplificados por:

$$\lambda(1-100, A) = 6715; \eta(6715, A) = B(Y1)$$

$$\lambda(00-11, B) = 5843; \eta(5843, B) = C$$

A tabela de estados simplificada é apresentada na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 Tabela simplificada de transição de estados.

<b>Estado presente</b>	<b>Entrada U</b>	<b>Função de transição de estados (abcd)</b>	<b>Próximo estado</b>
<b>A</b>	0000	5858	<b>A</b>
<b>A</b>	1-100	6715	<b>B</b>
<b>A</b>	10-10	6842	<b>C</b>
<b>A</b>	100-1	6571	<b>D</b>
<b>A</b>	-1100	4952	<b>E</b>
<b>A</b>	01-10	2944	<b>F</b>
<b>A</b>	010-1	5951	<b>G</b>
<b>A</b>	-1010	4862	<b>H</b>
<b>A</b>	0-110	5762	<b>I</b>
<b>A</b>	001-1	5861	<b>J</b>
<b>A</b>	-1001	4843	<b>K</b>
<b>A</b>	0-101	5753	<b>L</b>
<b>A</b>	00-11	5843	<b>M</b>

A tabela mostra o estado presente (coluna 1) e algumas possíveis interações (entradas) do usuário no sistema (coluna 2). A coluna 3 apresenta a função de transição de estados (resposta da rede IAC) e a coluna 4 apresenta o próximo estado.

Uma outra forma de visualizar o processo é através da utilização de um grafo representando a transição de estados da interface adaptativa conforme Figura 6.2.

Neste grafo, a partir do estado inicial (apresentação A) podem ser visualizados todos os próximos estados do sistema, a partir da intervenção do usuário.

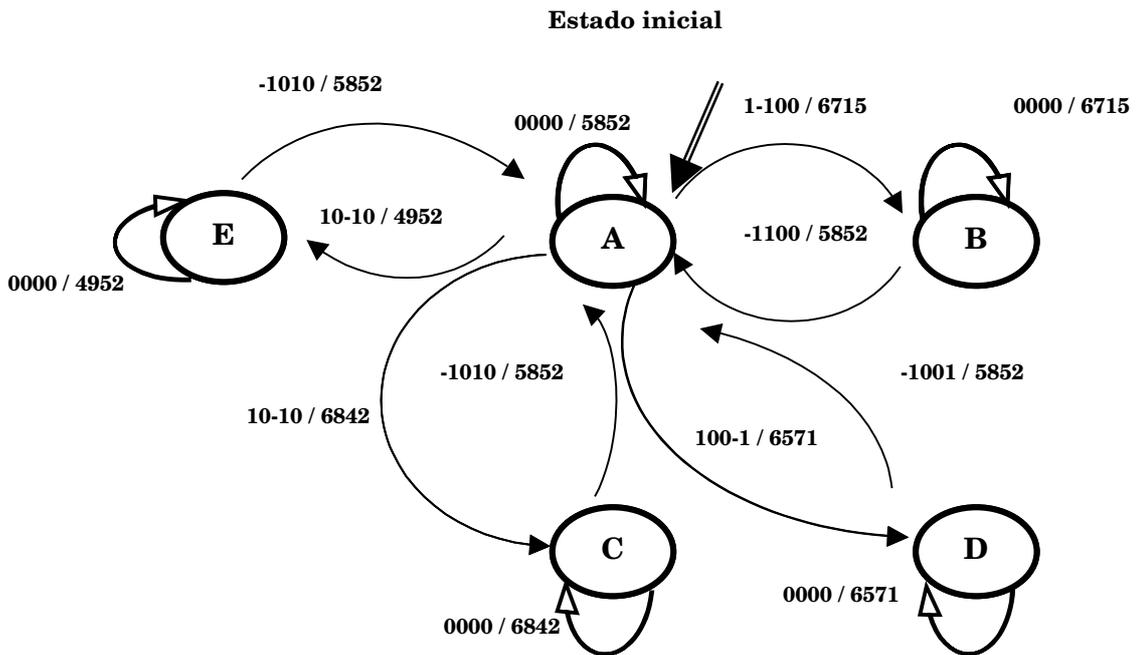


Figura 6.2 Representação transição de estados da interface adaptativa através de grafos.

Além da representação do sistema interface adaptativa como autômato através de grafos como foi demonstrado, também pode ser representada através de grafos a escolha do usuário e excitação dos neurônios na rede neural do tipo IAC, que faz parte da função de transição de estados. Esta representação será apresentada a seguir, na Figura 6.3.

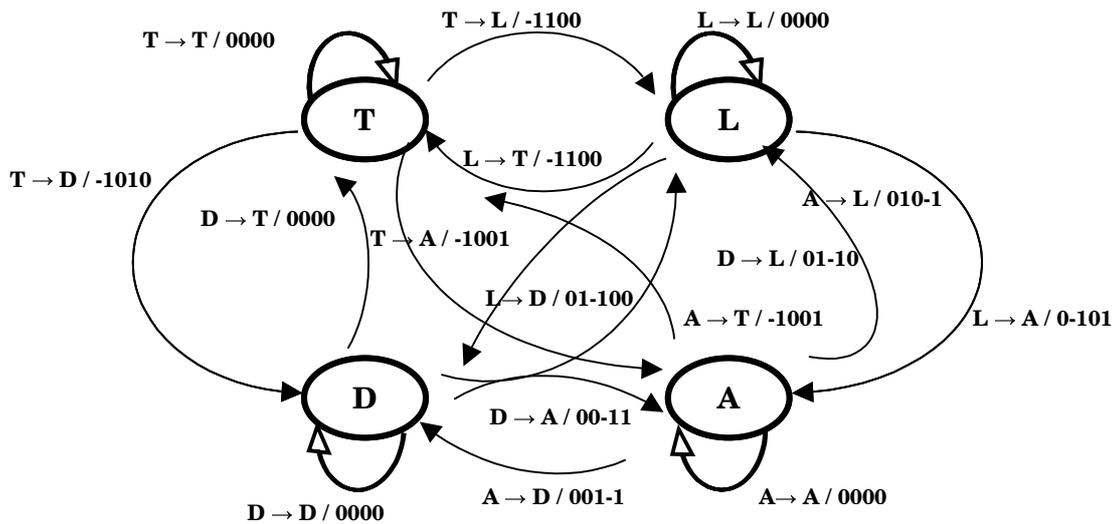


Figura 6.3 Uma representação da escolha do usuário e excitação dos neurônios na rede neural do tipo IAC através de grafos.

Esta figura mostra como uma mídia é determinada (novo estado) através da aceitação ou não, por parte do usuário. A entrada é a escolha do usuário e a função de transição de estados demonstra o comportamento de excitação dos neurônios (incremento ou decremento de uma unidade na quantidade da mídia escolhida e recusada respectivamente). Ou seja, definem-se quais os dois neurônios na rede IAC serão excitados, sendo estes determinados somando-se uma unidade em relação ao estado atual da mídia escolhida e diminuindo-se uma unidade em relação ao estado atual da mídia recusada. A saída vai demonstrar a mídia que será apresentada ao usuário do assunto em questão, sendo esta a mídia escolhida.

Para este diagrama de transição de estados a tabela de transição de estados correspondente é mostrada a seguir (Tabela 6.3).

Nesta tabela a coluna 1 apresenta o número da possibilidade, na coluna 2 é apresentada a entrada e a intervenção do usuário (U), a coluna 3 apresenta a ativação da rede IAC (transição de estado) e a 4 apresenta a saída fornecida ao usuário quando ocorre a intervenção. As colunas seguintes seguem a mesma representação.

Tabela 6.3 Tabela de transição de estados da ativação da rede IAC.

	<b>ENTRADA</b>	<b>X+1</b>	<b>SAÍDA</b>		<b>ENTRADA</b>	<b>X+1</b>	<b>SAÍDA</b>
<b>1</b>	<b>T → T</b>	<b>0000</b>	<b>T</b>	<b>9</b>	<b>L → D</b>	<b>0-110</b>	<b>D</b>
<b>2</b>	<b>T → L</b>	<b>-1100</b>	<b>L</b>	<b>10</b>	<b>L → A</b>	<b>0-101</b>	<b>A</b>
<b>3</b>	<b>T → D</b>	<b>-1010</b>	<b>D</b>	<b>11</b>	<b>D → L</b>	<b>01-10</b>	<b>L</b>
<b>4</b>	<b>T → A</b>	<b>-1001</b>	<b>A</b>	<b>12</b>	<b>A → L</b>	<b>010-1</b>	<b>L</b>
<b>5</b>	<b>L → T</b>	<b>1-100</b>	<b>T</b>	<b>13</b>	<b>D → D</b>	<b>0000</b>	<b>D</b>
<b>6</b>	<b>D → T</b>	<b>10-10</b>	<b>T</b>	<b>14</b>	<b>D → A</b>	<b>00-11</b>	<b>A</b>
<b>7</b>	<b>A → T</b>	<b>100-1</b>	<b>T</b>	<b>15</b>	<b>A → D</b>	<b>001-1</b>	<b>D</b>
<b>8</b>	<b>L → L</b>	<b>0000</b>	<b>L</b>	<b>16</b>	<b>A → A</b>	<b>0000</b>	<b>A</b>

## 7. VALIDAÇÃO E AVALIAÇÃO DO SISTEMA ADAPTATIVO

Entende-se que validar um sistema, um estabelecimento ou uma afirmação significa provar ou confirmar que ele funciona, é verdadeiro ou correto. Deste ponto de vista, dois tipos de validação podem ser realizados neste sistema. A primeira validação é aquela da máquina de adaptação, que envolve as redes neurais artificiais e o mecanismo de adaptação, como um todo. Esta validação foi realizada e apresentada no capítulo metodologia, tendo sido demonstrado que o sistema funciona sendo, portanto, verdadeiro ou correto. A segunda validação se refere aquela do conteúdo do estudo de caso, sendo que este se constitui na reprodução fiel do conteúdo de um manual de operação (fornecido pelo próprio fabricante) de um monitor multiparamétrico<sup>1</sup>, não necessitando, portanto, de validação.

O termo avaliação se refere a uma decisão acerca da significância, valor ou qualidade de alguma coisa baseada num cuidadoso estudo de suas características boas e ruins (COLLINS, 1992).

Como não foram encontradas metodologias, sejam empíricas ou formais, para avaliação de sistemas adaptativos, foi necessário criar um método próprio para avaliar o sistema adaptativo implementado. O método consiste na comparação, com relação à análise motivacional, deste sistema adaptativo e de um sistema estático.

Ao realizar o procedimento de avaliação, tornou-se fundamental planejar como este seria realizado e qual o procedimento estatístico que deveria ser usado na análise dos dados. Isto é importante porque particularmente em pesquisas confirmatórias, isto é, naquelas pesquisas que se tem, *a priori*, hipóteses que se deseja colocar à prova, deve-se realizar o planejamento preocupando-se em verificar se a sua execução vai gerar dados pareados ou amostras independentes, dados quantitativos ou categorizados, se os dados possuem distribuição normal ou não, e assim por diante. Para cada situação é usado um teste estatístico adequado.

Em geral, os testes estatísticos são usados para comparar diferentes grupos de elementos, com respeito a alguma variável de interesse ou variável resposta. Estes grupos podem diferir quanto a diferentes tratamentos aplicados a seus elementos, ou devido a diferentes populações de onde estes elementos são extraídos (BARBETTA,

---

<sup>1</sup> Monitor multiparamétrico é um equipamento eletromédico utilizado normalmente em Unidades de Terapias Intensivas e Centros Cirúrgicos para monitorização dos sinais vitais do paciente.

2002).

Neste trabalho, o objetivo central desta avaliação é comparar o comportamento de variáveis, observadas sobre um conjunto de itens de um questionário, em dois momentos diferentes para um mesmo grupo de indivíduos. O uso do teste estatístico, portanto, vai permitir avaliar se as diferenças observadas entre os valores obtidos podem ser meramente justificadas por fatores casuais ( $H_0$ ), ou se tais diferenças são reais ( $H_1$ ).

Para avaliar o sistema adaptativo desenvolvido, em relação à motivação, foram desenvolvidos dois *sites*: um estático e um adaptativo. Ambos os *sites* apresentam o mesmo assunto (manual de operação de um equipamento eletromédico), sendo que o *site* estático é inflexível e se apresenta de maneira idêntica (com textos e desenhos) para todos os indivíduos (conforme pode ser observado no Cap.16 (RP/D-IEB-01/2004). Realizou-se então, um estudo em que se observou a diferença de motivação com a utilização dos dois sistemas em uma amostra de usuários, conforme o esquema apresentado na Figura 7.1.

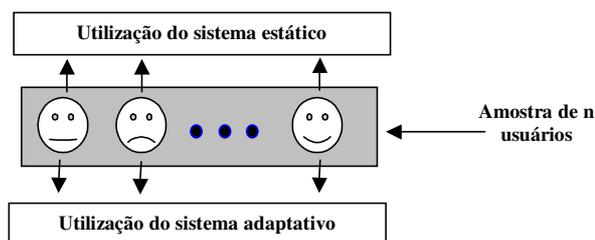


Figura 7.1 Esquema de um estudo, tipo dados pareados, para avaliar o efeito motivacional entre dois sistemas hipermídias (*sites*) – estático e adaptativo.

No desenvolvimento da avaliação utilizou-se uma amostra (grupo de usuários) com 31 indivíduos. Este grupo teve acesso ao sistema estático (*site* estático) e ao sistema adaptativo (*site* adaptativo), respondendo, ao fim de cada acesso, um questionário de identificação da motivação em relação a cada um dos sistemas. É recomendado neste tipo de avaliação que se tenha segurança de que, no período entre as duas mensurações, o único fator que afete sistematicamente os dados (valores da motivação) é o fator em estudo.

Foi realizada uma pesquisa na Internet com intuito de se localizar questionários já validados que atendessem às necessidades para avaliação dos dois *sites*, sendo listados abaixo os mais adequados:

- Sugestões para analisar as ferramenta de trabalho para pesquisa com a Internet, questionando a utilidade e validade dos recursos encontrados: <http://school.discovery.com/schrockguide/eval.html>
- Lista com 203 questões para avaliar um *site* (resposta sim/não): "*Usability Index Checklist for Web Sites*" – [www3.sympatico.ca/bkeevil/sigdoc98/checklist/WebCheck\\_Sep13.html](http://www3.sympatico.ca/bkeevil/sigdoc98/checklist/WebCheck_Sep13.html)
- Para avaliar um *site*: SUMI *homepage*- [www.ucc.ie/hfrg/questionnaires/sumi](http://www.ucc.ie/hfrg/questionnaires/sumi)
- Apresentação de um *Software* para avaliar um *site*: "*Remote Web usability testing*" - [www.noldus.com/events/mb2002/program/abstracts/lanfranchi.html](http://www.noldus.com/events/mb2002/program/abstracts/lanfranchi.html)

O questionário utilizado nesta avaliação se encontra no *site* <http://www.cyberbee.com/guides.html>. Este *site* apresenta vários testes e questionários: teste para avaliação do conteúdo de um *site* - *CyberGuide Ratings for Content Evaluation*, teste para avaliação do *design* - *WWW CyberGuide Ratings for Web Site Design*, teste para crianças avaliarem *site* - *Website Investigator* e **teste de análise motivacional – *Website Motivational Analysis Checklist (WebMac) Professional***, o qual foi escolhido para esta avaliação. Este teste é apresentado no Cap.18 (RP/D-IEB-01/2004).

Optou-se por utilizar um questionário já desenvolvido porque na condução de uma pesquisa, a construção de um questionário é uma etapa longa que deve ser executada com muita cautela e validada através de vários testes.

O questionário escolhido para obter os dados dos usuários apresenta várias características interessantes para a avaliação dos sistemas. A análise motivacional é importante e no questionário utilizado é possível verificar se os *sites* são: estimulantes, significativos, organizados e fáceis de usar, ou seja, é possível extrair várias características. Além disso, estabelece a forma de mensuração destas, apresenta várias perguntas independentes para cada característica a ser observada, sendo que as perguntas são claras, não induzem a nenhuma resposta e não são óbvias. O questionário, portanto, é completo no sentido de abranger as características necessárias para atingir os objetivos da pesquisa e não contém perguntas que fujam destes objetivos, tornando-o longo.

Outro fator considerado é que os autores do questionário, no processo de validação, o enviaram para três peritos em avaliação de questionários que sugeriram melhorias. Posteriormente, os questionários para análise de *site* foram aplicados em 460 bibliotecários de escolas do estado de Ohio (EUA). Os dados obtidos foram

utilizados para avaliar a efetividade do questionário como uma ferramenta de avaliação de *site*.

A resposta de um questionário (um usuário) é apresentada a seguir demonstrando como são obtidos os valores e como são realizados os cálculos estatísticos.

## 7.1 Cálculo do resultado do questionário

Quando todos os itens dos questionários já possuem um valor (sistema estático e adaptativo), eles são transferidos para campos apropriados, conforme Tabela 7.1. Os valores das respostas nas colunas são somados e seus totais são obtidos.

Tabela 7.1 Respostas do teste motivacional obtidas de um usuário para o sistema estático e o sistema adaptativo.

Indivíduo 1											
E			S			O			U		
Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 1	Col. 2	Col. 3
Perg.	E Est.	E Din.	Perg.	S Est.	S Din.	Perg.	O Est.	O Din.	Perg.	U Est.	U Din.
1	2	3	2	1	1	3	2	3	4	3	3
5	3	3	6	0	0	7	3	3	8	0	0
9	1	3	10	1	1	11	3	3	12	3	3
13	2	3	14	0	0	15	3	3	16	2	3
17	2	3	18	3	3	19	2	3	20	3	3
21	1	2	22	3	3	23	2	3	24	3	3
25	1	1	26	2	3	27	3	3	28	3	3
29	3	3	30	0	0	31	3	3	32	2	3
	15	21		10	11		21	24		19	21

As colunas em **E** refletem como este *site* é **estimulante** para o usuário, as em **S** como é **significante**, as em **O** como é **organizado** e as em **U** como este *site* é **fácil de ser usado**. Na tabela, para cada divisão E, S, O e U, a coluna 1 refere-se ao número da pergunta do teste, a coluna 2 à resposta do *site* estático e a 3 à resposta do *site* adaptativo (valores entre 0 e 3).

Os valores obtidos com todos os indivíduos são apresentados na seção seguinte.

## 7.2 Teste estatístico

O chamado *teste t* é apropriado para comparar dois conjuntos de dados quantitativos, em termos de seus valores médios, cujos dados são pareados<sup>2</sup>. Ele permite verificar se a tendência de ocorrer diferenças entre os dados não pode ser explicada, apenas, por efeitos casuais. Para aplicar o *teste t*, as hipóteses são formuladas em termos de valores médios.

<sup>2</sup> Dados pareados: um mesmo indivíduo responde um questionário antes, referente a motivação do sistema estático e um questionário depois, referente a motivação do sistema adaptativo.

$H_0^3$ : O sistema adaptativo não é mais motivacional do que o sistema estático.

$H_1^4$ : O sistema adaptativo é mais motivacional do que o sistema estático.

Ou ainda:

$$H_0 = \mu_{estático} \geq \mu_{adaptativo} \quad e \quad H_1 = \mu_{estático} < \mu_{adaptativo} \quad (7.1)$$

Onde,  $\mu_{estático}$  : motivação média dos usuários com o *site* estático; e  $\mu_{adaptativo}$  : motivação média dos usuários com o *site* adaptativo.

Para colocar o  $H_0$  a prova, observou-se os 31 usuários, com resultados do questionário motivacional para os *sites* estático e adaptativo. Os dados foram separados nas diversas características analisadas (estimulante, significativa, organizado e fácil para usar) e os valores médios totais são apresentados nas tabelas: Tabela 7.2, Tabela 7.3, Tabela 7.4, Tabela 7.5, Tabela 7.6. A Figura 7.2, Figura 7.3, Figura 7.4, Figura 7.5 e Figura 7.10 apresentam os valores numéricos obtidos dos 31 indivíduos, para cada parâmetro analisado. No Cap.19 do (RP/D-IEB-01/2004) as respostas dos 31 indivíduos de cada um dos parâmetros avaliados são apresentadas.

Tabela 7.2 Valor médio do parâmetro “estimulante” para os 31 usuários dos *sites* estático e adaptativo.

31 usuários	O quanto <b>estimulante</b> é o site		
	Site estático $X_1$	Site adaptativo $X_2$	Diferenças
<b>Média</b>	<b>12,5</b>	<b>20,5</b>	<b>8,1</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>3,7</b>	<b>2,6</b>	<b>3,2</b>
<b>Mediana</b>	<b>12</b>	<b>21</b>	<b>8</b>
<b>Somatório</b>	<b>387</b>	<b>636</b>	<b>251</b>

<sup>3</sup>  $H_0$  é chamada hipótese de trabalho ou nula e é uma negação daquilo que o pesquisador deseja provar.

<sup>4</sup>  $H_1$  é chamada hipótese alternativa e é aquilo que o pesquisador quer provar, ou seja, a própria hipótese de pesquisa.

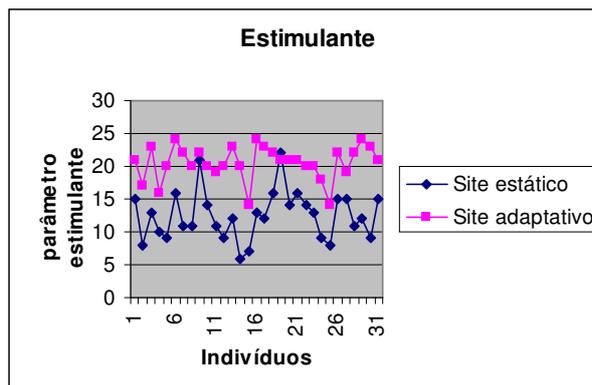


Figura 7.2 Gráfico do parâmetro “estimulante” dos *sites* estático e adaptativo para os 31 indivíduos.

Tabela 7.3 Valor médio do parâmetro “significante” para os 31 usuários dos *sites* estático e adaptativo.

31 usuários	O quanto <b>significante</b> é o site		
	Site estático $X_1$	Site adaptativo $X_2$	Diferenças
<b>Média</b>	<b>13,5</b>	<b>15,2</b>	<b>1,7</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>3,6</b>	<b>3,5</b>	<b>1,1</b>
<b>Mediana</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>2</b>
<b>Somatório</b>	<b>418</b>	<b>472</b>	<b>54</b>

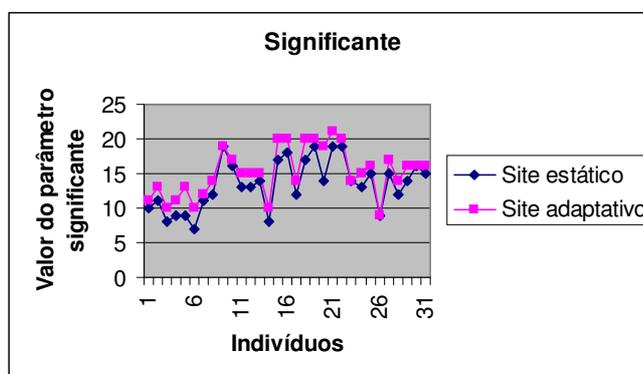


Figura 7.3 Gráfico do parâmetro “significante” dos *sites* estático e adaptativo para os 31 indivíduos

Tabela 7.4 Valor médio do parâmetro “organizado” para os 31 usuários dos *sites* estático e adaptativo.

31 usuários	O quanto <b>organizado</b> é o site		
	Site estático $X_1$	Site adaptativo $X_2$	Diferenças
<b>Média</b>	<b>18,4</b>	<b>19,1</b>	<b>0,6</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>3,1</b>	<b>4,1</b>	<b>3,6</b>
<b>Mediana</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>1</b>
<b>Somatório</b>	<b>554</b>	<b>591</b>	<b>20</b>

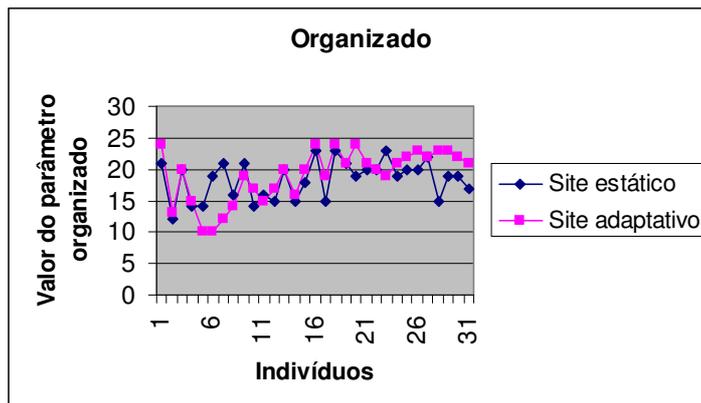


Figura 7.4 Gráfico do parâmetro “organização” dos sites estático e adaptativo dos 31 indivíduos.

Tabela 7.5 Valor médio do parâmetro “fácil de usar” dos 31 usuários dos sites estático e adaptativo.

31 usuários	O quanto <b>fácil de usar</b> é o site		
	Site estático $X_1$	Site adaptativo $X_2$	Diferenças
<b>Média</b>	<b>18,3</b>	<b>18,6</b>	<b>0,4</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>2,6</b>	<b>2,5</b>	<b>3,0</b>
<b>Mediana</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>0</b>
<b>Somatório</b>	<b>566</b>	<b>578</b>	<b>12</b>

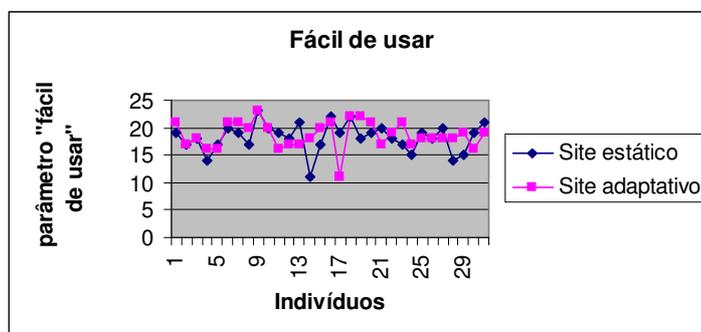


Figura 7.5 Gráfico do parâmetro “fácil de usar” dos sites estático e adaptativo dos 31 indivíduos.

Os valores médios dos parâmetros dos sites estático e adaptativo são apresentados na Tabela 7.6. A Figura 7.6 apresenta a avaliação dos parâmetros motivacionais, segundo o autor do questionário.

Tabela 7.6 Valores médios dos parâmetros motivacionais avaliados.

Médias	Site estático X <sub>1</sub>	Site adaptativo X <sub>2</sub>
Estimulante	12,5	20,5
Significante	13,5	15,2
Organizado	18,4	19,1
Fácil de usar	18,3	18,6

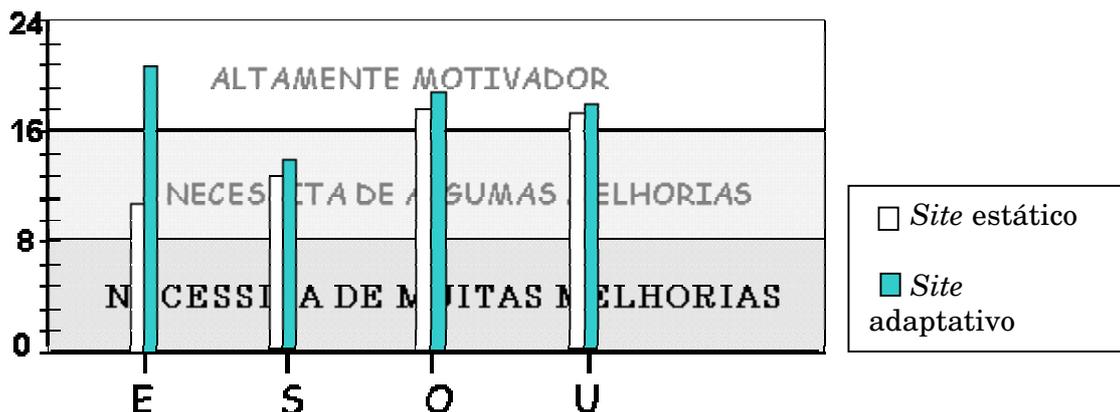


Figura 7.6 Gráfico de avaliação dos parâmetros motivacionais.

No gráfico os parâmetros do *site* que estão entre 0 e 8 necessitam de muitas melhorias, entre 8 e 16 necessitam de algumas melhorias e acima de 16 são altamente motivadores.

Na avaliação do parâmetro “estimulante”, o *site* estático necessita de algumas melhorias e o *site* adaptativo é altamente motivacional. Na avaliação do parâmetro “significância”, ambos os *sites* necessitam de algumas melhorias. Já para os parâmetros “organização” e “facilidade de utilização”, ambos se apresentam altamente motivadores. Percebe-se, portanto, que os dois *sites* apresentam boa qualidade, não induzindo os voluntários nas respostas do questionário.

Os valores dos quatro parâmetros (E, S, O, U) originam duas somas:  $V = (E + S)$  e  $ES = (O + U)$ , que indicam a qualidade motivacional.

O valor **V** reflete sumariamente o valor da motivação sobre a dimensão Valor, ou seja, o quanto estimulante e significativo o *Web site* é, e o valor **ES** reflete sumariamente o valor da motivação sobre a dimensão Expectativa para o Sucesso; ou seja, o quanto organizado e fácil de usar o *Web site* é. Os resultados destes parâmetros podem ser observados na Tabela 7.7 e Figura 7.7.

Tabela 7.7 Valor médio do “Valor” e “Expectativa para o Sucesso” dos dos *sites* estático e adaptativo para os 31 usuários.

31 Usuários	O quanto estimulante e significativo (V) e a expectativa de sucesso (ES) do site					
	Site estático		Site adaptativo		Diferenças V	Diferenças ES
	V(E+S)	ES(O+U)	V(E+S)	ES(O+U)		
<b>Média</b>	26,0	36,7	35,7	37,7	9,8	3,5
<b>Desvio padrão</b>	6,1	4,9	4,2	3,8	3,7	3,0
<b>Mediana</b>	24	38	35	38	11	3
<b>Somatório</b>	805	1137	1108	1169	303	108

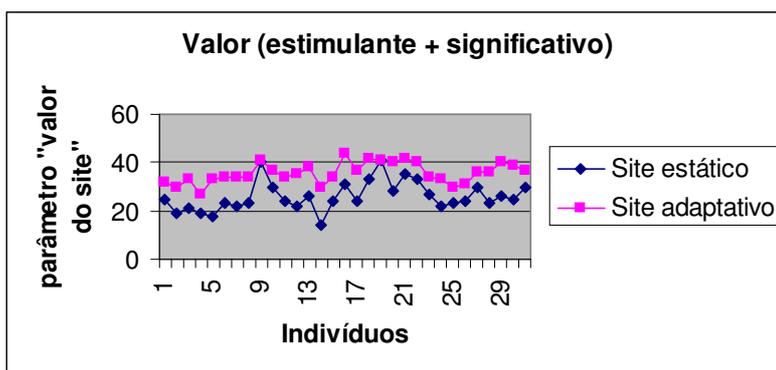


Figura 7.7 Gráfico do parâmetro “Valor” dos *sites* estático e adaptativo para os 31 indivíduos.

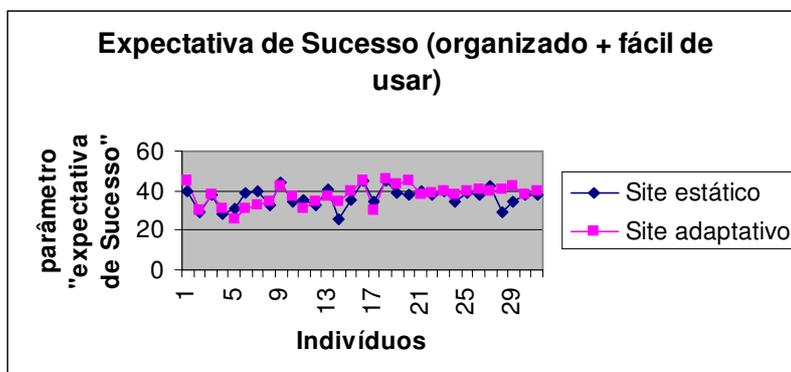


Figura 7.8 Gráfico do parâmetro “Expectativa de Sucesso” dos *sites* estático e adaptativo para os 31 indivíduos.

O Gráfico da Figura 7.9 mostra que o *site* estático tem alta “Expectativa para o Sucesso” (O + U), mas um “Valor” (E + S) médio, já o *site* adaptativo tem alto “Valor” e alta “Expectativa para o Sucesso”, apresentando portanto condições melhores para o usuário.

O valor da motivação total (soma de todos os parâmetros) é apresentada na Tabela 7.8 e na Figura 7.10.

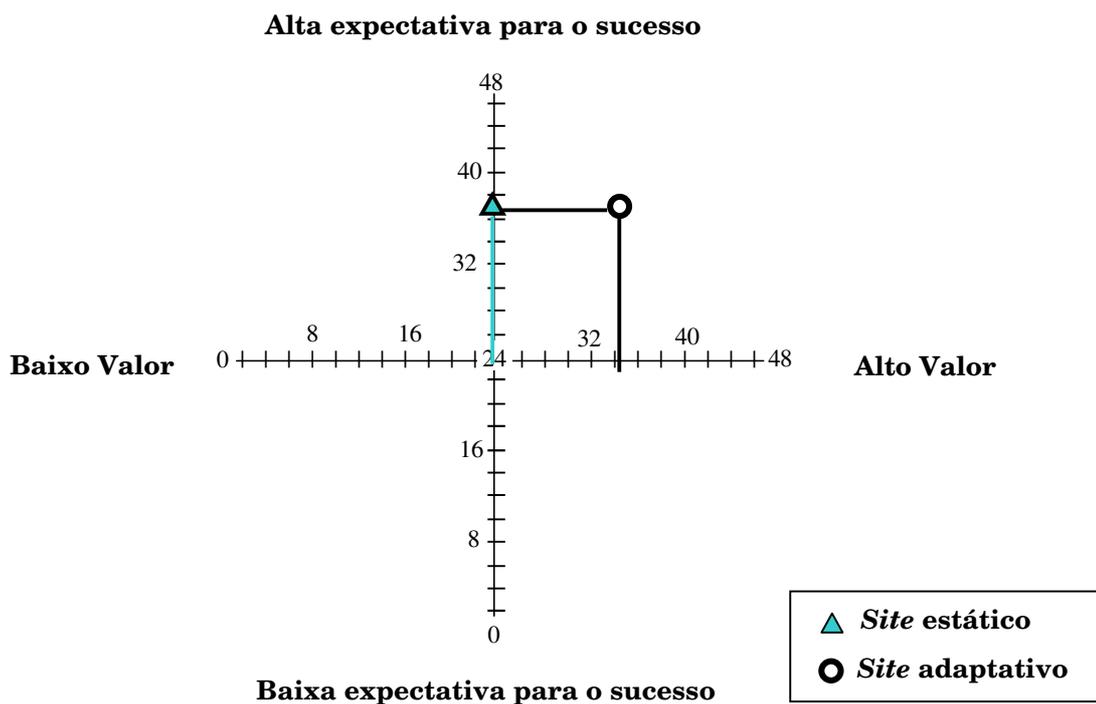


Figura 7.9 Gráfico de valores resultantes.

Tabela 7.8 Valor médio da “Motivação Total” dos 31 usuários dos *sites* estático e adaptativo.

31 usuários	Motivação Total		
	Site estático $X_1$	Site adaptativo $X_2$	Diferença $D = X_2 - X_1$
<b>Média</b>	<b>61,7</b>	<b>66,4</b>	<b>14,8</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>9,8</b>	<b>14,9</b>	<b>8,2</b>
<b>Mediana</b>	<b>59</b>	<b>70</b>	<b>14</b>
<b>Valor total</b>	<b>1913</b>	<b>2057</b>	<b>458</b>

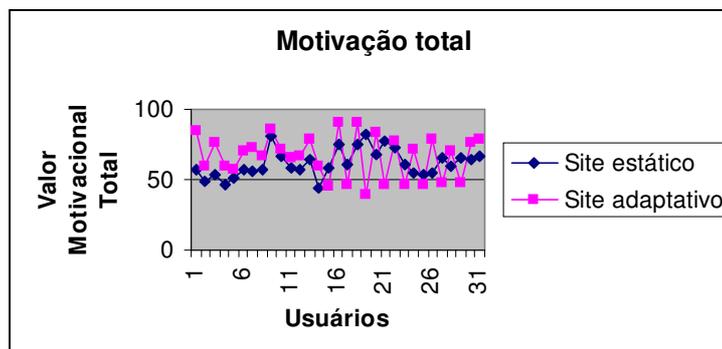


Figura 7.10 Gráfico da “Motivação Total” dos *sites* dos 31 indivíduos.

Um estudo estatístico foi realizado a partir dos dados obtidos. A estatística *t* se baseia nos valores observados da variável *D*, definida por:

$$D = (\text{medida depois}) - (\text{medida antes})$$

Se a hipótese nula for correta, devemos esperar que os valores observados desta variável estejam em torno de zero, ou ainda, que a média destas diferenças,  $\bar{D}$  esteja próxima de zero.

A estatística  $t$  para dados pareados, pode ser obtida pela Equação 7.2.

$$t = \frac{\bar{D} \cdot \sqrt{n}}{S_D} \quad (7.2)$$

Onde:

$n$ : tamanho da amostra, que, neste caso, corresponde ao número de pares (estático, adaptativo) observados;

$\bar{D}$ : média das diferenças observadas; e

$S_D$ : desvio padrão das diferenças observadas, obtido conforme Equação 7.3.

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum D^2 - n \cdot \bar{D}^2}{n - 1}} \quad (7.3)$$

Considerando os dados de uma amostra com distribuição normal (número de pares • 30) a estatística  $t$  tem distribuição *t de Student* com  $gl = n - 1$  graus de liberdade. Depois de observar os dados amostrais e calcular o valor da estatística  $t$ , pode-se obter a probabilidade de significância ou valor  $p$ , a partir de uma tabela de distribuição *t de Student*. Caso o valor de  $p$  seja menor que o nível de significância adotado, o teste conclui que os dados mostram evidência suficiente de que  $H_0$  é falsa.

Com os valores dos questionários obtém-se:

Tabela 7.9 Resultados do teste  $t$  para os parâmetros E, S, O e U.

Análise estatística	Características motivacionais			
	E	S	O	U
Tamanho da amostra (número de pares)	31	31	31	31
Média (site estático)	12,483871	13,483871	18,41935484	18,25806452
Média (site dinâmico)	20,516129	15,2258065	19,06451613	18,64516129
Média da diferença	8,03225806	1,74193548	0,64516129	0,387096774
Desvio padrão das diferenças	3,39100645	1,12450706	3,582814416	2,98526849
teste $t$	13,1883324	8,62483363	1,002593387	0,721966427
gl (distribuição t de student)	30	30	30	30
nível de significância	0,01	0,01	0,01	0,01
p (probabilidade de significância)	2,5439E-14	6,3688E-10	0,162037899	0,237952643
decisão	Ho falso	Ho falso	Ho verdadeiro	Ho verdadeiro

Tabela 7.10 Resultados do teste *t* para os parâmetros V, ES e Motivação Total.

Análise estatística	V(E+S)	ES(O+U)	Motivação
Tamanho da amostra (número de pares)	31	31	31
Média (site estático)	25,9677419	36,6774194	61,7096774
Média (site dinâmico)	35,7419355	37,7096774	66,3548387
Média da diferença	9,77419355	3,48387097	14,7741935
Desvio padrão das diferenças	3,74797436	2,95376559	8,16786254
teste <i>t</i>	14,5199516	6,56699796	10,0710838
gl (distribuição <i>t</i> de student)	30	30	30
nível de significância	0,01	0,01	0,01
p (probabilidade de significância)	2,0744E-15	1,4461E-07	1,9392E-11
decisão	Ho falso	Ho falso	Ho falso

Para uma melhor análise, as diferenças percentuais entre os parâmetros são mostradas na Tabela 7.11.

Tabela 7.11 Diferença percentual entre os valores médios dos parâmetros dos *sites* estático e adaptativo

Características	Valor médio		Diferenças	Diferenças %
	Estático	Adaptativo		
Estimulante (E)	12,48	20,52	8,03	64,34
Significativo (S)	13,48	15,23	1,74	12,92
Organizado (O)	18,42	19,06	0,65	3,50
Fácil de usar (U)	18,26	18,65	0,39	2,12
V (E + S)	25,97	35,74	9,77	37,64
ES (O + U)	36,68	37,71	1,03	2,81
Motivação Total	62,65	73,45	10,81	17,25

### 7.3 Análise dos resultados

Através dos resultados apresentados na Tabela 7.9 podemos concluir que o *site* adaptativo é mais estimulante que o *site* estático ( $H_0$  falso) com um nível de significância de 0,01. O parâmetro “estimulante” avalia: o *layout* da tela, como os títulos são apresentados, se o *site* é divertido e interessante de ser explorado, se as informações nos tópicos são interessantes, se a forma de apresentação do conteúdo (mídias utilizadas) é adequada, se o *site* possui características inéditas, se existem boas surpresas na apresentação e se as cores são agradáveis. Ou seja, este parâmetro avalia a maneira de se apresentar o conteúdo.

A Tabela 7.11 apresenta o valor percentual da diferença entre o valores médios do *site* estático e do adaptativo. Para o parâmetro “estimulante” a diferença percentual entre os valores é de 64,34%, ou seja, o *site* adaptativo tem valor médio 64,34% maior que o *site* estático.

O resultado foi bastante satisfatório, demonstrando que o desenvolvimento de

interfaces adaptativas pode trazer uma eficiência maior na absorção do conteúdo apresentado. Os usuários ficam mais estimulados e, provavelmente, fixam mais o conhecimento através da transmissão da informação na mídia mais adequada. Este parâmetro é o de maior interesse nesta avaliação, pois o que ele avalia é o que realmente foi modificado de um *site* para o outro (estático e adaptativo).

Apesar de uma diferença significativa entre os valores médios obtidos, esta poderia ser ainda maior, pois a parte visual do *site* adaptativo desenvolvido poderia ser melhorado com a contribuição de um *Web-designer* e um especialista em inteligências múltiplas tornando, assim, o *site* ainda mais atrativo e eficaz.

Quanto ao parâmetro “significância”, conforme Tabela 7.9 pode-se afirmar que o *site* adaptativo é mais significativo que o *site* estático ( $H_0$  falso), com nível de significância de 0,01. O parâmetro “significância” avalia: se existe menu no início, se apresenta links úteis para outros *sites*, se as informações são originadas de fontes seguras, se são atuais, precisas e imparciais, se há pouca informação sem importância ou redundante, se o *site* oferece interatividade e se oferece oportunidade de se comunicar com o autor.

Na Tabela 7.11, a diferença percentual do valor médio do parâmetro “significância” entre o *site* adaptativo e o estático é de 12,92%. A diferença do valor percentual médio para o parâmetro “significância” não é muito grande, porque não há muitas diferenças nos itens avaliados entre os *sites*, sendo esta diferença apenas quanto ao quesito fornecimento de interatividade. O *site* adaptativo possibilita maior interatividade por parte do usuário.

Quando os parâmetros foram avaliados quanto a motivação (Figura 7.6) o parâmetro “significância” necessitava de algumas melhorias tanto no *site* adaptativo como no *site* estático. Isto ocorre porque neles não existem outros *links* para serem acessados, não há identificação da fonte nem a data de obtenção das informações e não existe a possibilidade de se comunicar com o autor, e a maioria dos usuários (70%) definiram que o *site* seria beneficiado se estes itens tivessem sido incluídos.

Em relação ao parâmetro “organização”, segundo a Tabela 7.9, não podemos afirmar que a média dos valores do *site* adaptativo é maior que a média dos valores do *site* estático, para uma significância de 0,01. Nota-se que esta afirmação também não é válida para um nível de significância de 0,05. O parâmetro “organização” avalia: se o visual ou as informações com áudio ajudam a “clarear” ou descrever os assuntos, se o objetivo do *site* está claro, se as direções a serem seguidas na utilização do *site* são

simples e claras, se existem informações úteis sobre o conteúdo, se as informações são apresentadas usando uma linguagem e estilo claros e consistentes, se o texto está escrito sem erros gramaticais ou de ortografia, se o *site* apresenta uma quantidade de informações apropriadas sobre o assunto e se em qualquer assunto que o usuário se encontra é possível retornar ao menu ou sair. Ou seja, avalia o conteúdo apresentado o qual nesta avaliação é o mesmo para os dois *sites*.

Na Tabela 7.11, a diferença percentual do valor médio do parâmetro “organização” entre o *site* adaptativo e o estático é de 3,5%. A diferença dos valores médios entre os *sites* não é significativa. O *site* adaptativo provavelmente teve um valor um pouco maior devido à pergunta se o visual ou as informações com áudio ajudam a descrever os assuntos. Apesar de que, como não existe áudio no estudo de caso, este item não obteve um valor muito mais alto no *site* adaptativo que no estático. O item que pergunta se as direções a serem seguidas no *site* são simples e claras possivelmente favoreceu o *site* estático.

Quanto ao parâmetro “facilidade de usar” pode-se afirmar, conforme Tabela 7.9, que o *site* adaptativo não apresenta valores médios que determinam maior facilidade de utilização que o *site* estático ( $H_0$  verdadeiro), com nível de significância de 0,01. O parâmetro “facilidade de usar” avalia: se não é necessária uma habilidade especial para navegar no *site*, se este apresenta uma função ajuda, se o usuário pode controlar os movimentos a todo o momento, se os gráficos são concisos e claros, se os *hiperlinks* estão todos ativos, se em todo tempo é possível controlar as informações que se deseja ver, se o tempo que leva para as figuras aparecerem na tela é razoável.

Na Tabela 7.11, a diferença percentual do valor médio do parâmetro “facilidade de uso” entre o *site* adaptativo e o estático é de 2,12%. Este parâmetro é o que apresentou menor diferença percentual entre os *sites*. Apesar do maior controle nos movimentos do *site* adaptativo que o estático, o *site* adaptativo leva mais tempo para carregar as animações e vídeos, pois este teste de validação foi realizado em um *notebook Pentium Pro* da marca Toshiba modelo *Satellite 1730*, com memória de 64 Mb, que se constitui uma máquina lenta para a aplicação.

O parâmetro **Valor** também foi avaliado, sendo este um somatório dos dois outros parâmetros: estimulante e significativo ( $V = E+S$ ). O resultado apresentado na Tabela 7.1 demonstrou que pode-se afirmar com 99% de certeza (significância ( $\alpha$ ) igual a 0,01) que a média do valor “Valor” é maior para o *site* adaptativo que para o *site* estático. E que a média do parâmetro **Expectativa de sucesso** ( $ES = O+F$ ) para

o *site* adaptativo é maior ( $H_0$  falso) que para o *site* estático (significância ( $\alpha$ ) igual a 0,01). Na Tabela 7.11 pode-se observar que a média do **Valor** é 37,64% maior para o *site* adaptativo e que a média da **Expectativa de sucesso** é apenas 2,81% maior para o *site* adaptativo.

Com relação ao valor médio de **Motivação Total**, conforme Tabela 7.1, pode-se afirmar que o *site* adaptativo é mais motivador ( $H_0$  falso) que o *site* estático, com nível de significância de 0,01. A **Motivação Total** é a soma das médias dos quatro parâmetros considerados (E, S, O e U).

A Tabela 7.11 apresenta o *site* adaptativo 17,25% mais motivacional que o estático. Este valor é satisfatório, considerando-se que é um resultado que leva em conta os quatro parâmetros agregados e que somente a forma de apresentação do conteúdo (mídias) foram alterados de um *site* para outro.

Conclui-se que o parâmetro mais significativo nesta avaliação é o “estimulante” e a diferença do valor médio foi bastante satisfatória (64,34%), com possibilidade de melhoria com uma melhor elaboração do *site* adaptativo.

Este teste realizado avaliou, portanto, a motivação na utilização do *site* (sistema) adaptativo.

## 8. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

### 8.1 Discussões

A seguir, os tópicos mais relevantes do trabalho serão discutidos.

#### 8.1.1 O Desenvolvimento da Pesquisa em Hipermissão Adaptativa

Muitos sistemas hipermissão desenvolvidos, entre estes aqueles para *Web*, não possuem características para satisfazer as necessidades heterogêneas de muitos usuários. Ou seja, os cursos apresentam o mesmo material didático para estudantes com diferentes conhecimentos sobre o assunto. Lojas de vendas pela *Web*, oferecem a mesma seleção de itens para consumidores com diferentes necessidades e preferências. *Sites* informativos apresentam a mesma informação para leitores com diferentes características, e assim por diante. Uma solução para este problema de “uniformidade” é o desenvolvimento de sistemas que possuam a “habilidade” de se adaptar às necessidades, objetivos, interesses e outras características individuais do usuário. Devido a isto, existem inúmeros pesquisadores de diversas áreas (hipertexto, modelamento do usuário, geração de linguagem natural, sistemas tutores inteligentes, ciência cognitiva, educação baseada na *Web*, entre outras) desenvolvendo pesquisas nesta área denominada de Hipermissão Adaptativa.

Percebendo a grande abrangência do uso de sistemas computacionais no cotidiano de atividades das pessoas, principalmente os baseados na *Web*, a vantagem que estes sistemas oferecem quando adaptados aos seus usuários e o benefício da utilização de técnicas inteligentes (inteligência artificial) nestas adaptações, concluiu-se que o desenvolvimento de uma metodologia de adaptação de interface contribuiria com as pesquisas de hipermissão adaptativa de maneira significativa.

Uma contribuição deste trabalho, portanto, se constitui na proposição e implementação de uma metodologia de adaptação da interface baseada em um mecanismo constituído pelas redes neurais artificiais dos tipos MLP e IAC, bem como na utilização de uma teoria cognitiva de forma a determinar o perfil do usuário. Com esta metodologia pretende-se contribuir com o estudo de interfaces adaptativas de forma a criar ambientes ricos no fornecimento de informações a todos os usuários de sistemas hipermissão.

### 8.1.2 A Metodologia de Construção do Sistema de Adaptação

A metodologia proposta para o sistema de adaptação se constitui no cerne deste trabalho de pesquisa. Em sua concepção uma série de requisitos foi estabelecida, como:

- A adaptação do sistema seria realizada em função das características individuais do usuário e não de grupos padrões;
- Seria utilizada uma das teorias cognitivas, para caracterizar o perfil do usuário;
- O mecanismo de adaptação seria implementado com o uso de redes neurais artificiais;
- A adaptação seria centrada na interface;
- O sistema seria interativo, com possibilidade do usuário, em qualquer momento, modificar as condições apresentadas pelo mecanismo de adaptação. Este, por sua vez, deveria considerar esta escolha do usuário em suas próximas respostas;
- Como estudo de caso seria implementado um *site*.

Para realizar a adaptação do sistema, de forma individualizada, definiu-se quais inteligências múltiplas (IMs) da Teoria das Inteligências Múltiplas seriam utilizadas. Em função destas IMs, o conteúdo é apresentado através de diferentes tipos e quantidades de mídias.

O tema foi dividido, então, em diversos assuntos e cada assunto é “projetado” em quatro mídias diferentes. A quantidade de cada mídia a ser apresentada para cada indivíduo depende da estratégia pedagógica estabelecida no sistema. Determinou-se também quais e como as redes neurais seriam utilizadas para realizar a adaptação (adaptatividade<sup>1</sup> e adaptabilidade<sup>2</sup> do sistema) e foi desenvolvido um sistema especialista (SE) para efetuar correções nas respostas da rede, quando necessário.

Para o usuário, portanto, cada assunto do conteúdo é apresentado em uma determinada mídia, de acordo com a percepção inicial de seu perfil, e ele pode modificá-la (pode interagir com o sistema, modificando-o a fim de adequá-lo à sua

---

<sup>1</sup> Sistemas com adaptatividade têm a capacidade de modificar automaticamente suas próprias características, de acordo com a percepção das necessidades e características pessoais do usuário (OPPERMAN et al. 1997).

<sup>2</sup> Sistemas com adaptabilidade oferecem ferramentas para que o usuário altere explicitamente certas características do sistema, para adequá-lo ao seu comportamento (OPPERMAN et al. 1997).

vontade, naquele momento).

Na implementação da metodologia, os módulos do usuário e o módulo gerador de adaptação foram desenvolvidos em Matlab e testes foram realizados, com relação a adaptatividade e adaptabilidade do sistema. Em uma etapa inicial, a rede MLP, após aprendizado, respondeu corretamente ao conjunto de testes e a rede IAC, que também foi submetida a uma série de simulações, apresentou bons resultados qualitativos. Em uma segunda etapa, o módulo de interface foi desenvolvido em JSP. A comunicação entre os diferentes aplicativos foi realizada através de geração e exclusão de arquivos no disco rígido.

Posteriormente, foi escolhido o tema e a estrutura do *site* para implementar e testar a metodologia. O tema escolhido corresponde a um manual de operação de um equipamento eletromédico, devido à grande resistência por parte dos usuários em ler os manuais. O objetivo foi demonstrar que apresentando o manual em “formato” mais apropriado para o usuário (ou seja, mais adequado ao seu perfil) possivelmente ele se interessaria mais, assimilando melhor as informações sobre a operação do equipamento.

A escolha do equipamento eletromédico baseou-se em sua disponibilidade e de seu manual, nos laboratórios do IEB-UFSC, devido a um projeto em andamento com a empresa fabricante.

### **8.1.3 A Interface como Objeto de Adaptação**

Moran (1981) propôs uma das definições mais “estáveis” de interface, afirmando que “a interface de usuário deve ser entendida como sendo a parte de um sistema computacional com a qual uma pessoa entra em contato física, perceptiva e conceitualmente”. Esta definição caracteriza a interface de usuário como tendo um componente físico, que o usuário percebe e manipula, e outro conceitual, que o usuário interpreta, processa e raciocina. Ou seja, a interface é tanto um meio para a interação usuário-sistema, quanto uma ferramenta que oferece os instrumentos para este processo comunicativo. Desta forma, pode-se considerar a interface como um sistema de comunicação. É através dela, portanto, que os usuários têm acesso às funções do aplicativo, e fatores de satisfação subjetiva e de eficiência dependem de um bom projeto. Devido a isso, tem sido dada cada vez maior importância à interface em aplicações computacionais.

A metodologia implementada de desenvolvimento de uma interface adaptativa, proporciona ao usuário uma maior facilidade de “absorção ou aprendizado”

(possibilitando que os usuários atinjam um bom desempenho), uma maior facilidade de uso do sistema (diminuindo o “esforço cognitivo” do usuário durante o processo de interação), uma maior satisfação (proporcionando ao usuário prazer em trabalhar com o sistema), uma grande flexibilidade (possibilitando que o usuário possa modificar as condições iniciais do sistema) e, conseqüentemente, maior produtividade.

Entretanto, apesar do enfoque do trabalho ter sido a interface, há possibilidade de utilização do mecanismo de adaptação proposto em outras partes do sistema. Através de algumas modificações ele pode ser usado, por exemplo, na determinação de tipos de exercícios a serem aplicados aos usuários, após acesso aos conteúdos (se o sistema for educativo), na definição de conteúdo a ser apresentado ao usuário (conforme seu nível de conhecimento) e assim por diante. Desde que seja possível, na determinação destas novas aplicações, o uso da rede neural MLP que é treinada através de exemplos.

#### **8.1.4 O Perfil do Usuário**

O método desenvolvido leva em consideração o perfil do usuário, as definições de um especialista (o qual estabelece como deve ser aplicada a teoria das Inteligências Múltiplas) e o comportamento do usuário durante sua interação com o sistema.

Na determinação do perfil do usuário é utilizada a Teoria das Inteligências Múltiplas. Essa teoria, que tem grande aceitação atualmente e foi desenvolvida pelo psicólogo americano Howard Gardner da Universidade Harvard, estabelece a existência de oito tipos diferentes de inteligência e não apenas aquele bloco compacto de saber lógico que se julgava, no passado, ser a mais sublime expressão do intelecto. Gardner sustenta que co-existem na mente humana as habilidades lingüístico-verbal, cinestésico-corporal, lógico-matemática, musical, interpessoal (a facilidade de relacionamento), intrapessoal (o autoconhecimento), visual-espacial e naturalista (a capacidade da pessoa se relacionar com a natureza). Pesquisas mostram que, nas escolas que utilizam métodos pedagógicos baseados na referida teoria, os estudantes têm apresentado um melhor desenvolvimento.

Nas investigações sobre as estruturas físicas do cérebro não se encontraram ainda provas cabais de que tais inteligências operam mesmo de forma independente, mas as idéias de Gardner já provocaram a reforma do ensino em muitas escolas pelo mundo inteiro. Devido à vantagem que essa teoria apresenta no desenvolvimento dos indivíduos durante a absorção do conhecimento, optou-se pela sua utilização nesta tese. Para isto, o valor das IMs dos usuários é determinada através da utilização de

um teste, desenvolvido por um pedagogo brasileiro, evitando desta forma o desenvolvimento e a validação de um teste fora da área de atuação.

Neste trabalho apenas quatro IMs são consideradas e, como o teste é dividido em oito módulos independentes, um para cada uma das IMs, apenas quatro módulos foram utilizados. Cada um destes módulos apresenta questões de múltipla escolha, com quatro opções de marcações, cabendo ao “examinado” assinalar apenas uma alternativa (mais correta ou mais apropriada diante da situação proposta). Este formato do teste assegura uma maior objetividade na avaliação, permitindo a informatização do processo de obtenção da nota.

As principais limitações do teste estão relacionadas, primeiro, com a falta de sinceridade e, segundo, uma possível má interpretação da questão pelo “examinado” ao realizar o teste. Entretanto, o usuário que não responder as questões sinceramente, terá como penalidade um sistema que, inicialmente, não se adapta corretamente ao seu perfil. Além disso, acredita-se que as questões mal interpretadas (geralmente feitas na forma negativa) já estejam testando a habilidade (ou determinada inteligência) do usuário.

Apesar das limitações listadas acima, muitos testes de múltipla escolha são utilizados para se determinar o “valor” das inteligências múltiplas.

### **8.1.5 A Redução da Dimensionalidade do Teste**

O teste de múltipla escolha mencionado na seção anterior é constituído de oito módulos, um para cada Inteligência Múltipla, totalizando 150 perguntas. Os módulos para determinação do valor das IMs Lingüístico-verbal, Visual-espacial e Intrapessoal são constituídos de 20 perguntas cada. Já os módulos para as IMs Lógico-matemática, Musical, Cinestésico-corporal, Interpessoal e Naturalista são constituídos de 18 cada. Cabe observar que cada um destes módulos é independente um do outro e que os resultados do teste, para cada módulo, são notas que variam de 1 a 4. Neste trabalho, somente as Inteligências Lingüístico-verbal, Lógico-matemática, Visual-espacial e Cinestésico-corporal foram consideradas.

Com a redução da quantidade de IMs utilizada o teste que, inicialmente, possuía 150 perguntas, passa a 76, o que ainda se constitui em uma quantidade excessiva para um usuário responder ao acessar a hipermídia. Por conseguinte, foi necessário reduzir, ainda mais, este número de perguntas. Utilizou-se, então, a rede MLP com algoritmo de treinamento *backpropagation* e método das podas de nós de forma a reduzir a dimensionalidade do teste. Foram implementadas quatro redes

neurais, uma para cada IM considerada. No desenvolvimento do método, o teste com as 76 perguntas foi aplicado em 215 voluntários de diversas áreas de atuação.

Esse método desenvolvido para redução da dimensionalidade do questionário (número de perguntas do teste) foi bastante satisfatório (erro médio no conjunto de teste menor do que 6%), pois foi possível reduzir o número total de perguntas de 76 para 30. A maior vantagem desse procedimento é que ele realiza, simultaneamente, a seleção das perguntas e fornece a resposta final do teste.

Os erros médios de teste e treinamento resultantes foram considerados aceitáveis (conforme Tabela 8.1), pois, o sistema adaptativo proposto apresenta mecanismos de interação entre o usuário e o sistema, o que possibilita a correção de pequenos erros na determinação inicial do perfil do usuário.

Tabela 8.1 Perguntas e erros resultantes do teste de IM para todas as IM consideradas utilizando a rede MLP com podas de nós.

IMs	Total perguntas	Erro médio trein. <sup>3</sup>	Erro de trein.médio percentual	Erro médio teste	Erro de teste médio percentual	Perguntas resultantes
<b>Lingüístico-verbal</b>	<b>20</b>	<b>0,16</b>	<b>4</b>	<b>0,20</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Lógico-matemática</b>	<b>18</b>	<b>0,1</b>	<b>2,5</b>	<b>0,14</b>	<b>3,5</b>	<b>9</b>
<b>Visual-espacial</b>	<b>20</b>	<b>0,13</b>	<b>3,25</b>	<b>0,15</b>	<b>3,75</b>	<b>8</b>
<b>Cinestésico-corporal</b>	<b>18</b>	<b>0,21</b>	<b>5,25</b>	<b>0,22</b>	<b>5,55</b>	<b>7</b>
<b>Total de perguntas</b>	<b>76</b>					<b>30</b>

O valor de erro médio de teste e treinamento pode ser controlado pela determinação dos parâmetros da “poda” (*relevance threshold* e *time constant*), durante o treinamento da rede.

Esse método, portanto, se mostrou uma ferramenta útil quando se deseja reduzir o número de questões de um questionário. Não foram encontrados outros trabalhos que utilizam a poda de nós para redução de quantidades de perguntas em questionários, caracterizando mais uma contribuição deste trabalho. Principalmente porque definir o melhor método estatístico para tal aplicação é complicado, sendo muitas vezes utilizados métodos qualitativos em tal determinação. Além disto, com o uso de tais métodos estatísticos, posteriormente tem que se definir uma nova forma de

<sup>3</sup> Este valor apresentado na tabela é o valor absoluto.

se obter valores do teste (mensuração do teste), pois não é mais possível de ser utilizado o método de escore do teste original.

### **8.1.6 A Aplicação da Estratégia Pedagógica**

A definição automática da quantidade de mídias (texto, fluxograma, desenho e animação) que será apresentada ao usuário, conforme algumas de suas inteligências múltiplas, leva em consideração uma estratégia pedagógica de aplicação da Teoria das Inteligências Múltiplas. Ou seja, o sistema individualiza automaticamente as formas de apresentação do conteúdo usando texto, fluxograma, desenho e animação, conforme uma estratégia pedagógica aplicada às características do usuário.

A definição da estratégia é gerada no sistema pela rede MLP, pois através dela é possível reproduzir o conhecimento do especialista (ou indivíduo que vai estabelecer uma forma de apresentação do conteúdo). Este conhecimento é obtido a partir de exemplos (entrada/saída = notas/quantidades de mídias) que são fornecidos pelo especialista, através do preenchimento de uma tabela, que contém as notas das 4 IMs (entradas) de 124 indivíduos hipotéticos, e as quantidades de mídias a serem apresentadas (saídas). O sistema, portanto, vai modelar o conhecimento obtido através destes exemplos, após treinamento da rede MLP e, quando um novo indivíduo tem acesso ao sistema, este vai se “comportar” (aplicar a estratégia pedagógica) da mesma maneira que o especialista faria.

Um aspecto importante a ressaltar é que este método permite que um especialista (por exemplo, um pedagogo utilizando seus conhecimentos de estratégias pedagógicas de aprendizado) especifique sua estratégia didática e, caso seja necessário modificá-la, basta alterar a tabela em que são apresentadas as notas dos 124 indivíduos. Nesta, o especialista “especifica” sua estratégia pedagógica que será utilizada no treinamento da rede MLP. Assim, o sistema fará automaticamente as novas adaptações necessárias, não necessitando que o especialista ou outra pessoa faça alterações nos códigos dos programas implementados e nem entenda de Inteligência Artificial.

### **8.1.7 A Nova Forma de Implementação da Rede IAC**

A metodologia desenvolvida permite a construção de sistemas com a capacidade de modificar automaticamente a forma de apresentação do conteúdo em um sistema hipermídia, de acordo com a percepção inicial do perfil do usuário. O sistema oferece também a possibilidade do usuário alterar explicitamente a mídia que

determinado conteúdo é apresentado, a fim de adequá-lo às suas necessidades.

Devido às características do problema na implementação da metodologia, verificou-se que a ferramenta mais adequada seria a utilização de redes neurais artificiais (RNA). No desenvolvimento do mecanismo de adaptação foram utilizadas, portanto, redes neurais artificiais (RNA) dos tipos MLP e IAC para implementação, respectivamente, da adaptação da mídia ao conteúdo conforme o perfil do usuário e das alterações explícitas realizadas por ele. Estas redes apresentam características importantes para a solução do problema de adaptação, e uma nova contribuição em relação à rede IAC foi obtida durante o desenvolvimento da metodologia.

A IAC é uma rede que apresenta uma topologia particular com características de memórias bidirecionais hetero-associativas o que a torna bastante apropriada para a implementação de mecanismos de adaptação para interfaces adaptativas. Seu uso, portanto, é interessante já que apresenta características relevantes para a realização do *feedback* com o usuário. Além da bidirecionalidade, permite que qualquer neurônio seja ativado, ou seja, qualquer neurônio poderá ser entrada ou saída em cada interação, salvo os do *pool* escondido, e não há número fixo de neurônios a serem ativados. A rede também utiliza, na atual interação do usuário com o sistema, os valores de ativações obtidas nas interações anteriores possibilitando uma forma de “memorização” dos atos anteriores do usuário na determinação do estado atual.

Observa-se que a rede IAC, apesar das vantagens que apresenta, é uma rede que não generaliza o conhecimento fornecido em sua matriz de conhecimento. Ou seja, ela apresenta soluções adequadas apenas para situações em que o conhecimento está inserido em sua matriz. Caso contenha informações suficientes para todo, ou quase todo, o universo de possibilidades, a rede vai “funcionar” bem. Por outro lado, se o universo de possibilidades for imenso, não possibilitando uma representação suficiente na matriz de conhecimento, a rede não vai apresentar bom resultado.

Neste trabalho, porém, com uma abordagem inédita, o uso conjunto de uma rede MLP com a IAC possibilitou que o problema de generalização fosse solucionado. Ou seja, da forma como foi implementado o uso das redes, para qualquer problema pode-se obter uma resposta aceitável, mesmo com um universo imenso de possibilidades. Foi possível, unir as características desejáveis das duas redes. Com esta abordagem estabeleceu-se um certo mecanismo de “aprendizado” para o modelo IAC, pois como esta não incorpora mecanismos de aprendizagem como as demais redes de representação distribuídas (MLP), o seu uso era limitado.

Observa-se que este sistema híbrido de redes poderá ser utilizado em qualquer tipo de problema que necessite das características citadas, quais sejam: generalização do conhecimento, memorização, ativação de qualquer quantidade de neurônios e a consideração de um neurônio ou grupos de neurônios como entrada em dado momento e saída em outro.

### **8.1.8 A Formalização do *Site* Adaptativo como Autômato**

Uma interface adaptativa introduz características dinâmicas na apresentação de conteúdos em sistemas computacionais. Esta adaptação, e conseqüente dinamismo, busca uma melhor eficiência e eficácia do que está sendo apresentado ao usuário.

A interface adaptativa de um sistema computacional pode ser definida como um autômato. A formalização da interface adaptativa como autômato também se constitui em uma contribuição deste trabalho.

### **8.1.9 A Validação e Avaliação do Sistema**

No desenvolvimento da metodologia, todos os processos implementados foram validados, principalmente os relacionados ao mecanismo de adaptação. A metodologia foi estruturada em três módulos, cada um responsável por determinada “tarefa” no sistema.

No módulo do usuário se determina a característica do usuário através de um teste de múltipla escolha reduzido. O teste reduzido foi implementado e comparado ao teste original avaliando-se, desta forma, se ele estava fornecendo resposta adequada, com um erro aceitável (menor que 6%). Verificou-se que os erros gerados são aceitáveis, principalmente porque o sistema é interativo.

Como no *software* MatLab não existe uma função pronta que realize as podas de nós, foi utilizado o *software Data Engine* para se determinar os valores dos pesos. Estes valores foram implementados no MatLab. Para validar esta implementação, foram comparadas as notas obtidas com o teste dos 215 voluntários pesquisados.

No módulo gerador de adaptação, responsável pelo mecanismo de adaptação do sistema, foi desenvolvido um programa que possibilita a utilização da rede IAC em diferentes implementações. Este programa foi validado pela comparação dos seus resultados com os resultados do programa desenvolvido em DOS pelos criadores da rede (McCLELLAND, 1981).

A rede MLP, implementada no programa (MatLab) deste módulo foi testada através de uma função linear (estratégia “matemática”), pois através desta sabe-se

exatamente a resposta que a rede deve fornecer. Esta abordagem foi utilizada em todos os testes como forma de validar a rede, antes de sua utilização com a estratégia pedagógica definida pelo especialista. A rede MLP, depois de treinada, respondeu corretamente ao conjunto de teste, tanto na implementação linear como na estratégia pedagógica.

Neste módulo utilizou-se também a rede IAC, que foi submetida a uma série de simulações onde eram criadas situações repetitivas para melhor caracterizar o comportamento do indivíduo e da rede. Nessas simulações, a rede se comportou qualitativamente de maneira satisfatória. Através das notas geradas nestas simulações pode-se comprovar que a rede realmente se comporta conforme a determinação do usuário no sistema, da memória das interações anteriores e da estratégia pedagógica adotada.

Foi realizada, também, uma avaliação do sistema adaptativo como um todo. Para isso, um teste foi aplicado em 31 voluntários para avaliar a motivação na utilização do *site* (sistema) adaptativo. O parâmetro mais significativo nesta avaliação verificou o quanto estimulante o sistema é, e a diferença do valor médio em relação a um *site* não adaptativo foi bastante satisfatória (64,34%).

Testes com esta quantidade de indivíduos, apesar de normalmente não serem conclusivos, são um bom indicativo. Principalmente porque, com este número de indivíduos, os dados utilizados possuem uma distribuição normal, o que permitiu o uso das ferramentas estatísticas utilizadas. A amostra não foi estratificada, porém entre os avaliados que realizaram o teste encontram-se biólogos, engenheiros eletricitas (especialistas, ou não, em engenharia clínica<sup>4</sup>), engenheiros de controle, analistas de sistemas, administradores de empresa e indivíduos com formação no ensino secundário. Todos eles tinham afinidade com a utilização da internet. O sistema desenvolvido foi apenas um protótipo e para um teste com uma quantidade maior de indivíduos algumas melhorias são necessárias.

Na realização da avaliação, algumas modificações no sistema tiveram que ser implementadas. Os programas escritos no MatLab não são compilados, sendo portanto, extremamente lentos em algumas situações, principalmente, nesta situação

---

<sup>4</sup> Um profissional de engenharia clínica estuda e implementa métodos para gerenciamento, controle e manutenção de equipamentos médico-assistenciais, visando sua melhor utilização e a segurança para funcionários e pacientes.

de interatividade (*on-line*). O programa dos módulos do usuário e gerador de adaptação foi desenvolvido com este aplicativo, com a divisão do programa principal em diversas funções. Observou-se que apenas a função do algoritmo da rede IAC deixava-o lento, sendo esta então, convertida para a linguagem C. Esta função da rede IAC, que inicialmente demorava 4 minutos para ser executada passou a levar 7 segundos. Não se esperava que a redução no tempo fosse tão considerável. Recomenda-se, portanto, que todo o sistema desenvolvido em MatLab seja implementado em C, já que a comunicação entre os sistemas (C e JSP, ou MatLab, C e JSP) é realizada de maneira simples, através do controle de arquivos no disco rígido. Desta forma, o módulo do usuário e o módulo gerador de adaptação seriam desenvolvidos na linguagem C e o módulo de interface continuaria em JSP.

Nota-se ainda que, apesar do resultado satisfatório do teste motivacional, este resultado poderia ser ainda melhor, caso houvesse a participação de um *web-designer*, no desenvolvimento da parte visual do *site*, já que atualmente esta é bastante simples. A colaboração de um especialista em inteligências múltiplas também seria muito importante.

Os valores numéricos obtidos no teste de validação não puderam ser comparados com os resultados de outros *sites*, pois não existe um padrão “ouro” ou qualquer outro a ser comparado. Na verdade, por ser uma área nova, não existem nem mesmo, métodos recomendados para se realizar avaliações nos sistemas adaptativos.

Outra proposta para melhoria do sistema é a implementação de um banco de dados, onde o usuário se cadastraria (escolheria uma determinada senha) ao acessar pela primeira vez o sistema e seus dados (perfil) ficariam armazenados (os resultados da última interação inclusive). Assim, quando ele retornasse, não haveria necessidade de responder ao teste de múltipla escolha novamente.

Na definição da topologia da rede IAC, no módulo gerador de adaptação, para um conteúdo de 20 assuntos, ficou estabelecido que os neurônios rotulados com as quantidades variariam de 1 a 17. Considera-se, com esta topologia, que em qualquer estratégia pedagógica aplicada, sempre vai ser apresentada pelo menos uma mídia de cada uma considerada. Este estabelecimento ocorreu porque a teoria das IMs considera que uma pessoa possui todas as IMs, mesmo que seja em menor grau. Entretanto, uma modificação simples e fácil de ser realizada seria o aumento dos neurônios nos *pools* quantidades da rede IAC, variando estes de 0 a 20. Desta forma, caso se desejasse “trabalhar” com apenas uma das mídias na implementação da

estratégia pedagógica, isto seria possível.

Para modificação do tema ou da divisão do conteúdo (modificar a quantidade de assuntos), usando esta mesma teoria cognitiva (Teoria das Inteligências Múltiplas), deve-se modificar a topologia da rede IAC (distribuição e quantidade de neurônios na rede) e, em consequência, modificar algumas partes da função do programa da rede IAC bem como o programa em JSP no qual o conteúdo está inserido.

No protótipo desenvolvido os assuntos foram divididos em várias páginas e no resultado final cada página era apresentada em uma mídia. Uma variante desta forma de apresentação poderia ser a divisão das páginas em *frames* e cada um destes ser apresentado em uma mídia diferente, conforme as IMs do usuário. Dessa forma, não haveria muita mudança no programa já implementado.

A forma ideal de se obter informações do usuário, para identificação de suas características (perfil), seria através do monitoramento da navegação dele no sistema. Então, depois de um tempo de navegação e com o usuário “fornecendo” dados que possibilitassem a identificação de seu perfil, as páginas seriam adaptadas às suas características. Para tal implementação, seria necessário que um especialista, na identificação requerida, auxiliasse no desenvolvimento do processo de identificação. Neste caso também poderia ser utilizada uma rede neural MLP, onde os *links* ou campos acessados que pudessem fornecer informações (dados) de identificação seriam as entradas da rede neural.

Desenvolver um sistema de autoria<sup>5</sup> utilizando o mecanismo de adaptação para implementar sistemas adaptativos seria bastante interessante. Este sistema de autoria poderia ser utilizado para desenvolver páginas adaptativas para a Internet em qualquer assunto e para modificar a estratégia pedagógica de aplicação das IMs.

Salienta-se que o mecanismo de adaptação proposto e desenvolvido neste trabalho pode ser utilizado em qualquer tipo de sistema (monousuários ou em rede) onde se deseja adaptação e para as mais diversas aplicações (sistemas educacionais, sistemas tutores, sistemas para venda de produtos, propaganda e outros). Também poderia ser desenvolvido para qualquer outra teoria cognitiva ou outra definição de interface (não ser referente somente às formas de apresentação de mídias, podendo

---

<sup>5</sup> Um sistema de autoria é uma ferramenta relativamente genérica que permite a construção de sistemas computacionais com conhecimento mínimo, por parte do autor, da área de informática. Ou seja, um sistema de autoria é um programa onde é possível construir sistemas, sobre assuntos de um certo domínio, de forma mais automática possível.

ser referente a conteúdos, tipos de atividades a apresentar, tipos de avaliações e outros), tendo como condição apenas que o “problema” possa ser representado pelas redes neurais MLP e IAC.

A implementação do mecanismo, utilizando a metodologia desenvolvida, demonstrou que o sistema é factível. Portanto, esse mecanismo proposto poderá ser utilizado em todas as situações em que a adaptabilidade for necessária para aumentar a satisfação do usuário.

### **8.1.10 Limitações e Dificuldades**

Com relação às limitações do sistema desenvolvido, pode-se citar a ausência de um banco de dados e a dificuldade de disponibilização imediata, do *site* adaptativo desenvolvido, na Internet. Essa dificuldade ocorre devido a linguagem escolhida para programação (MatLab), que requer um *Toolbox* específico, de alto custo, para possibilitar a “hospedagem” em um servidor de páginas *Web*. Na realização dos testes, foi utilizado o aplicativo TomCat, o qual simulava um servidor de páginas *Web* no próprio *desktop*, onde o Matlab estava instalado. Cabe observar que se utilizou o MatLab devido a grande facilidade oferecida para programação, pois existem várias funções matemáticas e gráficas disponíveis, que permitem o desenvolvimento dos programas de uma forma mais rápida.

Na realização do trabalho, as maiores dificuldades ocorreram na determinação de como seria implementado o sistema adaptativo, na escolha de um método adequado para redução de dimensionalidade do questionário e na definição da rede mais indicada para a solução do problema. Problema este que conduziu ao desenvolvimento do sistema híbrido de redes neurais proposto.

## **8.2 Conclusões**

Conforme exposto, pode-se concluir que a hipótese: “É possível o desenvolvimento de um mecanismo de adaptação em interfaces para sistemas hipermídia utilizando-se da Rede Neural Artificial do Tipo IAC, modelo original de Rumelhart” é verdadeira, desde que a Rede Neural Artificial do tipo MLP seja usada em conjunto. A metodologia implementada com estas características apresentou resultados qualitativos desejáveis. A utilização das redes neurais, portanto, se mostrou bastante adequada para esta tarefa de adaptação.

As principais contribuições do trabalho são: a metodologia desenvolvida para sistema de adaptação, o método de redução de dimensionalidade do questionário, o

desenvolvimento do sistema híbrido para solucionar problemas que a rede IAC tradicional de Rumelhart apresenta e a formalização da interface adaptativa como autômato.

Em relação ao mérito do presente trabalho, acredita-se que este é significativo, pois a adaptação de sistemas computacionais fornece inúmeros benefícios aos usuários e vai contribuir com uma área que está em crescimento. O mecanismo desenvolvido nesta metodologia pode ser implementado em qualquer sistema que necessite de adaptação, podendo ser utilizado em sistemas educacionais instrucionais e formais (STI, ensino a distância e outros), de informações, de vendas, de propaganda e outros. Com tal implementação, haverá uma maior motivação na utilização destes sistemas, como foi demonstrado nos resultados da avaliação. Nesses resultados verificou-se que o *site* adaptativo, em relação ao *site* estático, foi 64,34% mais estimulante, 12,92% mais significativo, 3,50% mais organizado, 2,12% mais fácil de usar e 17,25% mais motivador. Esses resultados podem ser melhorados com o aperfeiçoamento do *site* adaptativo.

Acredita-se que o presente trabalho incentive o desenvolvimento de novas pesquisas nesta área, esperando-se que ele tenha um efeito estimulador na utilização de outras técnicas de inteligência artificial na solução desse problema.

Este trabalho não encerra o assunto sobre adaptação em interface, e sim, é mais uma solução nessa abordagem. Portanto, sugere-se algumas tarefas para continuidade das pesquisas, como, por exemplo:

- Estudos para desenvolvimento de adaptação em diversas partes do sistema: realizar adaptação em relação ao conteúdo, tipos de atividades (jogos, exercícios) e outros;
- Desenvolvimento de um banco de dados com as informações dos usuários: o usuário deveria se cadastrar ao acessar o sistema pela primeira vez, determinando um *login* e uma senha. Os dados do usuário seriam então armazenados (a última resposta da rede IAC, com os valores das notas e quantidades, e a última sequência de mídias apresentada) e quando o usuário retornasse novamente ao sistema, não haveria necessidade de refazer o teste de múltipla escolha;
- Desenvolvimento de novos métodos de obtenção das características do usuário: melhorar o teste de múltipla escolha ou obter informações necessárias do usuário através de sua navegação no sistema;

- Desenvolvimento de um sistema de autoria para implementação de sistemas adaptativos: nele, o usuário com permissão de autoria (implementador da adaptação e da estratégia pedagógica) teria uma senha que ele informaria ao acessar o campo ou *link* “autoria”, apresentado na página principal do sistema. Após digitar a senha, ele teria acesso a três *links*: modificação da estratégia pedagógica, correção do texto do assunto implementado e modificação do tema. Ao acessar o *link* modificação da estratégia pedagógica seria apresentada uma tabela com as notas dos 124 indivíduos hipotéticos e ele a preencheria com as quantidades de cada mídia. Ao acessar o *link* modificação de texto, ele teria acesso ao texto do *site* e faria as modificações necessárias. Ao acessar o *link* modificação do tema, ele montaria o menu e as telas do sistema de maneira fácil (como se estivesse usando o *frontpage* inserindo *gifs*, vídeos, desenhos, fotografias, onde necessário) e definiria em quantos assuntos o conteúdo seria dividido (a topologia da rede IAC seria montada em função desta informação);
- Aplicação e teste de outras teorias pedagógicas para realizar adaptação: testes para verificação da validade de cada uma das novas teorias pedagógicas a serem implementadas poderiam ser estabelecidas;
- Implementação de um sistema com várias teorias pedagógicas para realizar a adaptação, onde o estrategista poderia escolher alguma delas: um *software* de autoria ainda mais completo seria obtido através da implementação de diversas teorias pedagógicas, sendo que o usuário escolheria qual delas usar (desde que seja possível modelá-las na rede MLP através de exemplos e seja possível implementá-la na rede IAC). Estas estratégias deveriam já estar definidas e implementadas na ferramenta de autoria e apenas seriam modificadas com a inserção de dados em uma tabela;
- Comparação do método de redução do número de perguntas estabelecido através do método de podas de nós com outros métodos;
- Desenvolvimento de métodos de validação e avaliação de sistemas adaptativos: uma proposta seria a realização de uma avaliação do sistema adaptativo que verificaria a eficácia na obtenção do conhecimento fornecido. Para realização deste teste seria necessária uma amostra de usuários dividida em três grupos aleatórios. Para um grupo o conteúdo seria apresentado através de material escrito, outro grupo teria contato ao mesmo conteúdo através de um *site* estático (assunto apresentado de maneira inflexível e idêntica a todos os

usuários) e outro através de um *site* adaptativo (apresentação personalizada ao usuário). O objetivo do experimento, portanto, seria verificar qual grupo assimilaria melhor o conteúdo. Para isto um instrutor explicaria o que seria apresentado, a forma que as informações seriam fornecidas e quais conteúdos deveriam ser observados, para cada grupo. Para os grupos com acesso pelo computador, seriam explicadas as possibilidades de interação do usuário com o sistema. Cada grupo teria acesso ao material por duas horas e, no final, todos os indivíduos efetuariam uma mesma avaliação sobre o conteúdo para medir o grau de “aprendizagem”. Avaliar sistemas adaptativos é um problema de difícil solução e o desenvolvimento de vários trabalhos nesta direção poderia contribuir muito com a área de hipermídia adaptativa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAE –Associação Brasileira de Estudos Das Inteligências Múltiplas. Acessado em 2004, <http://www.abrae.com.br>
- ALMEIDA, M. A.F.; 1999. *Aprender, atividade inteligente: e se esta inteligência for parcialmente artificial?* Florianópolis. Dissertação de Mestrado – Centro Tecnológico, Curso de Pós-graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Santa Catarina.
- ALMEIDA, M. A.F.; 2002. *Hipertômatos na computação aplicada a educação*. Florianópolis. Tese de Doutorado – Centro Tecnológico, Curso de Pós-graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Santa Catarina.
- ARMSTRONG, Thomas; GARDNER, Howard; 2001. *Inteligências Múltiplas na Sala de Aula*. Tradução: Maria Adriana Veronese, Porto Alegre: Editora Artmed.
- ANTUNES, Celso; 1998. *As Inteligências Múltiplas e seus estímulos*, 2ª Edição, Campinas: Editora Papirus.
- ANTUNES, Celso; 2001a. *Como Transformar Informações em Conhecimento*. Fascículo 2, Petrópolis: Editora Vozes.
- ANTUNES, Celso; 2001b. *Como Desenvolver Conteúdos Explorando as Inteligências Múltiplas*. Fascículo 3, Petrópolis: Editora Vozes.
- ANTUNES, Celso; 2001c. *Como Identificar em Você e em Seus Alunos as Inteligências Múltiplas*. Fascículo 4, Petrópolis: Editora Vozes.
- ANTUNES, Celso; 2002. *A Inteligência Emocional na Construção do Novo Eu*. 8ª Edição, Petrópolis: Editora Vozes.
- BARBETTA, Pedro Alberto.; 2002. *Estatística Aplicada às Ciências Sociais*. 5 ed. Florianópolis: Editora da UFSC.
- BARBOSA, A T. R.; De AZEVEDO, F. M. 2002 Uma proposta de uma Metodologia para desenvolvimento de um Site com Interface Adaptativa baseada na Inteligência Múltipla do Usuário, In: *II Congresso Brasileiro de Computação, CBComp2002*, Itajaí, SC.
- BARBOSA, A T. R.; De AZEVEDO, F. M. 2003. Uma Proposta de Uma Metodologia Para Desenvolvimento De Um Site Com Interface Adaptativa Baseada Na Inteligência Múltipla Do Usuário, In: *III Congresso Brasileiro de Computação, CBComp2003*, Itajaí, SC.
- BARRETO, J. M.; 2002. *Inteligência Artificial no Limiar do Século XXI* 3ª ed Florianópolis: Duplic.

- BIRMINGHAM CITY COUNCIL; 2004. (Acessado em julho) [http://www.bgfl.org/bgfl/activities/intranet/ks3/ict/multiple\\_int/questions/questions.cfm](http://www.bgfl.org/bgfl/activities/intranet/ks3/ict/multiple_int/questions/questions.cfm)
- BITTENCOURT, Guilherme; 1998. *Inteligência Artificial: Ferramentas e Teorias*, Florianópolis: Editora da UFSC.
- BOCKER, H. D.; HONL, H.; SCHWAB, T.; 1990. Adapted Individualizing Hypertext. In: *Proceeding of IFIP Tca3 Third International Conference on Human-Computer Interaction*, Amsterdam: New Holand.
- BRAGA, Antônio de Pádua; LUDERMIR, Teresa Bernanda; CARVALHO, Antônio Carlos P de L. F.; 2000. *Redes Neurais Artificiais: Teoria e aplicações*, Rio de Janeiro: Editora LTC.
- BRUSILOVSKY, P.; BEAUMONT, L.; 1994. In: *Proceeding of the Workshop Adaptive Hypertext and Hypermedia at 4<sup>th</sup> International Conference on User Modeling, UM97*, Hyannis, MA.
- BRUSILOVSKY, P.; De BRA, P.; 1998. In: *Proceeding of the Second Workshop on Adaptive Hypertext and Hypermedia at Ninth ACM International Hypertext Conference Hypertext '98, Computer Science Report 98/12*, Eindhoven University of Technology Available, on line at <http://wwwis.win.tue.nl/ah98/Proceeding.html>
- BRUSILOVSKY, P.; De BRA, P.; 1999. In: *Proceeding of the Second Workshop on Adaptive Systems User Modeling on WWW at 8<sup>th</sup> International World Wide Web Conference and 7<sup>th</sup> International Conference on User Modeling*, Eindhoven University of Technology Available, on line at <http://wwwis.win.tue.nl/asum99/contents.html>
- BRUSILOVSKY, P.; KOBASA, A.; VASSILEVA, J.; 1998. *Adaptive Hypertext and Hypermedia*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- BRUSILOVSKY, P.; PESIN, L.; ZYRYANOV, M.; 1993. Toward an adaptive hypermedia component for an intelligent learning environment. In: *Proceeding of 3rd International Conference on Human-computer Interaction, EWHCI93. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 753, Berlin.
- BRUSILOVSKY, Peter; 1996. Methods and techniques of adaptive hypermedia. In: *User Modeling and User-Adapted Interaction Journal*, vol. 6, Pittsburgh.
- BRUSILOVSKY, Peter; 2001. Adaptive Hypermedia. In: *User Modeling and User-Adapted Interaction 11*, Netherland, pp 87-110.
- BURTON, A. M.; 1994. Learning new faces in Interactive Activation and Competition Mode. *Visual Cognition 1*, p 313-348.
- BURTON, A. M.; BRUCE, V.; 1992. I recognize your face but I can't remember your name: a simple explantion? *British Journal of Psychology*, 83, p. 45-60.
- CABRERA, Lina G; LLORCA, José P; 2001. A Cognitive Model for Adaptive Hypermedia System. In: *Web Information Systems Engineering*, IEEE, China.

- CAMPBELL, Linda; DICKINSON, Bruce; 2000. Ensino e Aprendizagem por Meio das Inteligências Múltiplas, 2ª Edição, Tradução: Magda França Lopes, Porto Alegre: Editora Artmed.
- CARBONELL, J. R.; 1970. AI in CAI: An artificial intelligence approach to computer-aided instruction. In: *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*, Vol. MMS-11, nº 4, pp. 190-202.
- CARVER, C. A.; HOWARD, R. A.; LANE, W. D., 1999. Enhancing student learning through hypermedia courseware and incorporation of student learning styles. In: *Transation on Education*, IEEE, USA.
- CARVER, C. A.; HOWARD, R. A.; LAVELLE, E.; 1996. Enhancing student learning by incorporating student-learning styles into adaptive hypermedia. In: *Proceedings of ED-MEDIA' 96- World Conference on Educational Multimedia and Hypermedia*, Boston, MA.
- CLANCEY, W. J; 1987. Knowledge-Based Tutoring: The GUIDON Program. *The MIT Press*.
- CHUNG, K.; YOON, J.; 1997. Performance Comparison of Several Feature Selection Methods Based on Node Pruning in Handwritten Character Recognition. In: *Proceedings of the Fourth International Conference on*, v: 1, pp. 18-20, Aug.
- COLLINS COBUILD; 1992. *English Language Dictionary*. London. Ed. in chief John Sinclair. HaperCollins Publishers.
- COSTA, A. M. N. D.; LEITÃO, C. F; DIAS, D.R. A.; 2001. Gerando conhecimento sobre os homens, mulheres e crianças que usam computadores: algumas contribuições da psicologia clínica. In: *Workshop sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (4. : Out.) IHC'2001*. Florianópolis, pp. 132-144.
- CURILEM, G. M. J; De AZEVEDO, F. M. 2001. Implementação Dinâmica de Atividades num Sistema Tutor Inteligente, In: *XII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, Vitória, ES, pp 453-460.
- CURILEM, G. M. J; De AZEVEDO, F. M. 2002a. Intelligent Tutoring system for Diabetes Education, In: *II Conferência Européia de Engenharia Médica e Biológica, EMBEC'02*, Viena, Áustria.
- CURILEM, G. M. J; De AZEVEDO, F. M.; 2002b. Ergonomia Didática na Interface de Sistemas Tutores Inteligentes In: *VI Congresso Ibero-americano de Informática Educativa, IE2002*, Vigo, Espanha.
- CYPHER, A.; 1991. Programming repetitive tasks by example. In: *Proceedings of the ACM Conference on Computer*, p.p.33-39.
- Da BRA, Paul; BRUSILOVSKY, Peter; 2000. Tutorial on Adaptive Hypermedia In: *Proceeding ACE ED-Media Conference Anais*. Montreal.

- De AZEVEDO, F. M.; 1997. Uma proposta de modelos formais de neurônios e redes neurais artificiais In: *Congresso Brasileiro De Redes Neurais, Anais*, p. 503-514, Florianópolis.
- De AZEVEDO, Fernando 1993. *Contribution to the Study of Neural Networks in Dynamical Expert Systems*, Belgium: Namour, Institute d'Informatique – FUNDP.
- De AZEVEDO, Fernando Mendes; BRASIL, Lourdes Mattos; OLIVEIRA, Roberto C. L.; 2000. *Redes Neurais com Aplicações em Controle e em Sistemas Especialistas*, Florianópolis: Visual Books.
- De LIZ, Patrícia Palhano.; SCHÜTZ, Sérgio Murilo. 2003. Software de Auxílio à Detecção de Inteligências Múltiplas, In: *III Congresso Brasileiro de Computação, CBComp2003*, Itajaí, SC.
- de SOUZA, Lindeberg Barros; 2001. *Redes de Computadores: Dados, Voz e Imagem*. 2º ed., São Paulo: Editora Érica.
- DENNIS, Simon; 2003. The interactive activation and competition network: how neural network process information, <http://www.itee.uq.edu.au/~cogs2010/cmc/chapters/IAC/#Intro>
- DISNEY LEARNING PARTNERSHIP; 2004 (Acessado em julho) <http://www.thirteen.org/edonline/concept2class/month1/>
- ELMAN, J. L.; McCLELLAND, J. L; 1983. Speed perception as a cognitive process: The interactive activation model. In: *Technical Report. Institute of Cognitive Science*, University of California, San Diego, CA.
- FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda; 1999. *Dicionário Aurélio*. São Paulo: Editora Nova Fronteira.
- FONSECA, Polyana S.; 2002. *Proposta de definição de inteligência de máquina inspirada na Teoria das Inteligências* Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- GAMA, Maria Clara S. Salgado; 1998. A Teoria das Inteligências Múltiplas e Suas Implicações para Educação. Página integrante do site Psy\_coterapeutas on line [www.homemdemello.com.br/psicologia/intelmult.html](http://www.homemdemello.com.br/psicologia/intelmult.html)
- GARCEZ, Jurandyr N.; OLIVEIRA, Roberto C. L.; OLIVEIRA, A. H. G.; TOSTES, Maria E., MORAES, José R. B.; SANTOS, Andréa N. P.; 2002. Módulo de Consulta Inteligente para Apoio a Decisão sobre Ressarcimento de Danos ao Consumidor em Rede de Distribuição de Energia Elétrica. In: *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Automática (Set.: Natal)*. Rio Grande do Norte.
- GARDNER, Howard.; 2001. *Estrutura da Mente*. Porto Alegre: Editora Artmed.
- GARDNER, Howard; 1996. *A nova ciência da mente*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- GLOBAL REACH; 2003. Global Internet Statistics - <http://www.greach.com/globstats/>

- GROSSBERG, S.; 1978. *A Theory of Visual Coding, Memory and development*. E. L. J. Leeuwenberg & H. F. J. M. Buffart (Eds.) Formal theories of visual perception. NY: Wiley.
- HAYKIN, S.; 2001. *Redes Neurais: Princípios e prática*. 2 ed. Porto Alegre: Bookman.
- LANGLEY, P.; 1999. User modeling in adaptive interfaces.. In: *Proceedings of the Seventh International*, pp.357-370.
- LEVIN, J. A.; 1976. Proteus: An activation framework for cognitive process models. *Tech. Rep. ISI/WP-2*. Marina Del Rey, CA: University of Southern California, Information Sciences Institute.
- JAIN, A. K.; DUIN, R. P. W.; MAO, Jianchang; 2000. Statistical Pattern Recognition: A Review. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. v. 22, n. 1 (Jan.), pp. 4-37.
- KAPLAN, C.; PENWICK, J.; CHEN, J.; 1993. Adaptive hypertext navigation based on user goals and context. In: *User Modeling and user-Adapt Interaction*. Vol. 3, pp 193-220.
- KAPLAN, C.; ROCK, D.; 1995. New Direction for Intelligent Tutoring. In: *AI Expert*, pp 30-40.
- KORVEMAKER, B.; GRENIER, R.; 2000. Predicting UNIX Command lines: Adjusting to user patterns. In: *Proceedings of the Seventeenth National Conference on Artificial Intelligence*, pp 230-235.
- KURI MORALES, A. F.; 2003. *A Comprehensive Approach to Genetic Algorithms in Optimization and Learning – Theory and Applications – Vol. 2*. 1 ed. México: Fondo de Cultura Econômica (in press).
- LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D.; 2000. *Estatística: Teoria e Aplicações*. Rio de Janeiro: Editora LTC.
- MAO, J.; MAHIUDDIN, K.; JAIN, A. K.; 1994. Parsimonious Network Design and Feature Selection Through Node Pruning. In: *Proc. 12th Int. Conf. Pattern on Recognition*, pp. 622-624, Oct.
- MARINILLI, M; MICARELLI, A.; 1999. A case-based approach to adaptive information filtering for the WWW. In: *Proceedings of Second Workshop on Adaptive Systems and User Modeling on the World Wide Web*, Computer Science Report, Eindhoven University of Technology, Toronto, Canadá.
- McCLELLAND, J. L.; 1981. Retrieving general and specific information from stored Knowledge of specifics. In *Proceedings of the Third Annual Meeting of Cognitive Science Society*. p. 170-172
- McCLELLAND, J. L.; RUMELHART, D. E. 1986. *Parallel Distributed Processing: Explorations of the microstructure of cognition*. Vol. 1: Foundations. The MIT Press.

- McCLELLAND, J. L.; RUMELHART, D. E.; 1981. An Interactive Activation Model of Context effects in letter Perception: Part 1. *An account of basic findings. Psychological Review* 88. p. 375-407
- McCLELLAND, J. L.; RUMELHART, D. E.; 1989. *Explorations in Distributed Processing – A Handbook of Models, Programs and Exercises*, USA: Massachusetts Institute of Technology: Ed. Bradford Book.
- MORAN, T.; 1981. The Command Language Grammars: a representation for the user interface of interactive computer systems. In: *International Journal of Man-Machine Studies*, 15, 3-50.
- MÚLTIPLE INTELLIGENCES DEVELOPMENTAL ASSESSMENTE SCALES; 2004 (Acessado em julho) <http://www.angelfire.com/oh/themidas/index.html>
- NASCIMENTO Jr., Cairo L.; 1994. *Artificial Neural Networks in Control and Optimization*. Manchester. Thesis of Faculty of Technology – University of Manchester.
- OPPERMAN, Reinhard R.; ROSSEN, Kinshunk; 1997. *Adaptability and Adaptivity in Learning Systems V. 2*, Knowledge Transfer.
- PAGANO, R. L.; 1992. *Computer Simulation as an educational tool*. Belgium. Tese (Doutorado) – Faculty of Applied Sciences. University of Louvain la Neuve.
- PAGANO, R.; BARRETO, J. M.; 1989. Laboratory experimete simulation in eletrical engineering education. (Sept: Edinburgh). *Proceeding of ESC'89 – 3rd European Simulation Congress*. p. 311-317.
- PAGANO, R.; BARRETO, J. M.; 1990. A theoretical model of hipertext. *Proceeding of AINN'90 – International Conference of Artificial Intelligence Applications and Neural Networks*. Acta Press, M. H. Hanza Edition, Zurich, p. 10-15.
- PAGANO, R.; BARRETO, J. M.; 1991. Hypertext Information Technology in Medical Education. *Proceeding of 6<sup>th</sup> Meidterrqnean Electrotechical Conference – IEEE-MELECON'91*. Yugoslavia, vol. 2, p. 1577-1580.
- PAGANO, R.; BARRETO, J. M.; 1992. Computer Simulation + Information Technology: Good tools for classroom Work? In: *9<sup>th</sup> International Conference on Technology and Education – ICTE'92*. Paris, vol. 3, p. 16-20.
- PALAZZO, L. A. M.; 2000. *Modelos Proativos para Hipermissão Adaptativa*. Porto Alegre. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- PAZZANI, M; MURAMATSU, J.; BILLSUS, D.; 1996. Syskill and Webert: Identifying interesting Web sites. In: *Proceedings of the Thirteen National Conference on Artificial Intelligence, AAA'96*, Portland. Available on-line at <http://www.ics.uci.edu/pazzani/Syskill.html>.
- PRESTON, Gralla; 2001. *How the Internet Works*. 6 ed. USA: Que.

- PROJECT ZERO; 2003. Project Zero at the Harvard Graduate Scholl of Education - <http://www.pz.harvard.edu/>
- RAHMAN, Rasha A.; SOMMER, Werner; SCHWEINBERGER, Stefan R.; 2002. Brain-Potential Evidence for the Time course of Access to Biographical Facts and Names of Familiar Persons. *Journal of Experimental Psychology-Learning, Memory and Cognition*. American Psychological Association, v. 28, n. 2, pp. 366-373.
- REED, R.; 1993. Pruning Algorithms A Survey. *IEEE Trans. On Neural Networks* v. 4, n. 5, pp. 707-740.
- RICH, E.; KNIGHT, K.; 1994. *Inteligência Artificial*. 2ª Edição São Paulo: Makron Books.
- ROSS, E; 2000. Intelligent User Interfaces: Survey and Research Directions. *Technical Report CSTR-00-004*, Departament of Computer Science, University of Bristol.
- RP/D-IEB-01/2004; 2004. *Relatório de Pesquisa da Tese de doutorado Mecanismo de adaptação baseado em redes neurais artificiais em sistemas hipermídia adaptativos: aspectos teóricos, implementação e simulações*. Florianópolis. Doutorado em Engenharia Elétrica – Centro Tecnológico, IEB, Universidade Federal de Santa Catarina.
- SALDIAS, G. M. J. C. . I. M.; 2002. *Metodologia para a Construção de Interfaces Adaptáveis em Sistemas Tutores Inteligentes*. Florianópolis. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- SEAR, A.; SHNEIDERMAN, B.; 1994. Split menus: Effectively using selection frequency to organize menus. In: *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, pp 27-51.
- SEVEN INTELLIGENCES CHECKLIST; 2004 (Acessado em julho) <http://www.mitest.com/o7inte~1.htm>
- SHORTLIFFE, E. H.; 1976. *Computer-based medical consultations: MYCIN*. New York: American Elsevier.
- SIGAKI, N.A; de Azevedo, F. M.; Barreto; 1997. Enhancing Connectionist Expert Systems Using IAC Models Through Real Cases – *Proceeding of The ICANNGA 97- 3TH International Conference on Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms* – Norwick, UK.
- SIGAKI, Nancy Akemi; 1997. *Estudo da Influência de Bases de Casos em Redes IAC (Interactive Activation and Competition) na Implantação de Sistemas Especialistas*, Florianópolis. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Centro Tecnológico – UFSC.
- SILVA, F. L. da; 1993. Computer-assisted EEG Diagnosis: Pattern Recognition and Brain Mapping. In: *Electroencephalography – Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*. 3 ed. Williams & Wilkins.

- STEVENAGE, S. V.; LEWIS, H. G.; 1999. IACAPA: modelling recognition and learning of people with an interactive activation and competition model. In: Artificial Neural Networks (Vol 2, pg 779-784 Jul). *ICANN 99 – Ninth International Conference on*. Edinburgh, UK.
- STEVENS, A.; COLLINS A. M.; 1977. The goal structure of a Socratic tutor, *Rapport technique*, nº 3518, Cambridge (MA): Bolt, Beranand and Newman Inc.
- VAN DAM, A.; 1997. Post-WIMP User Interfaces. *Communications of the ACM*. v. 40, n. 2, pp. 63-67.
- VOLZ, E.; MARTENS, A.; SEITZ, A.; 2002. An execution system for variable tutoring processes In: *ITI 2003 - Proceedings of the 25th International Conference on Computers in Education*. IEEE; Vol.1, pp 255 - 260.
- WATANABE, S.; 1985. *Pattern Recognition: Human and Mechanical*. New York: Wiley.
- WISBECK, John Oersted; 2000. “Técnicas Híbridas de Processamento de Sinais Biomédicas Implementadas com Redes Neurais Artificiais”, Florianópolis. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Centro Tecnológico – UFSC.

## Publicações

- BARBOSA, Andréa T. R; De AZEVEDO, Fernando Mendes.; 2002. Uma proposta de Sistema Hiperfídia Adaptativo para “Web sites” na área de saúde. In: II WORKSHOP DE INFORMÁTICA APLICADA À SAÚDE (Agosto: Itajaí/SC). Anais.
- BARBOSA, Andréa T. R; De AZEVEDO, Fernando Mendes.; 2003. Uma proposta de Metodologia para desenvolvimento de um site com interface adaptativa baseada na Inteligência Múltipla do usuário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO (Agosto: Itajaí/SC). Anais.
- BARBOSA, Andréa T. R; De AZEVEDO, Fernando Mendes.; 2003. Metodologia para Desenvolvimento de um Site com Interface Adaptativa usando Redes Neureais e Teoria das Inteligências Múltiplas. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (Novembro: Rio de Janeiro/RJ). Anais
- BARBOSA, Andréa T. R; De AZEVEDO, Fernando Mendes.; 2004. Mecanismo de adaptação automática da interface em sistemas hiperfídia conforme algumas inteligências múltiplas do usuário. In: CONGRESSO NACIONAL DE AMBIENTE HIPERFÍDIA PARA APRENDIZAGEM (Florianópolis/SC). Anais.
- CURILEM, Glória M. S.; De AZEVEDO, Fernando Mendes; Andréa T. R.; 2004. Adaptive Interface Methodology for Intelligent Tutoring Systems. In: 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS (ITS2004) Anais.
- BARBOSA, Andréa T. R; De AZEVEDO, Fernando Mendes.; 2004. Redução de dimensionalidade de um questionário utilizando a rede neural artificial do tipo Multi-Layer Perceptron. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES NEURAS (SBRN2004). Anais.
- BARBOSA, Andréa T. R; De AZEVEDO, Fernando Mendes.; 2004. Desenvolvimento de Hiperfídia Adaptativa usando Redes Neurais dos tipos Multi-Layer Perceptron e Interactive Activation and Competition. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA (CLAEB2004). Anais.
- RP/D-IEB-01/2004; 2004. *Relatório de Pesquisa da Tese de doutorado Mecanismo de adaptação baseado em redes neurais artificiais em sistemas hiperfídia adaptativos: aspectos teóricos, implementação e simulações*. Florianópolis. Doutorado em Engenharia Elétrica – Centro Tecnológico, IEB, Universidade Federal de Santa Catarina.