

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA  
COMPUTAÇÃO**

**Luiz Alberto Schmitz**

**NAVEGAÇÃO ADAPTATIVA: A UTILIZAÇÃO DE REDES  
NEURAIS RECORRENTES COMO FERRAMENTA DE PREVISÃO**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação

Orientador: Raul Sidnei Wazlawick, Dr.

Florianópolis, abril de 2004

# NAVEGAÇÃO ADAPTATIVA: A UTILIZAÇÃO DE REDES NEURAIS RECORRENTES COMO FERRAMENTA DE PREVISÃO

Luiz Alberto Schmitz

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação Área de Concentração Sistemas de Conhecimento e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

Banca Examinadora

---

Raul Sidnei Wazlawick, Dr.  
(coordenador do curso)

---

Raul Sidnei Wazlawick, Dr. (orientador)

---

Vitório Bruno Mazzola, Dr.

---

Mauro Roisenberg, Dr.

---

Felipe Martins Müller, Dr.

"A via mais rápida é o caminho correto".  
(Madre Tereza de Calcutá)

"O caminho mais curto nem  
sempre é o melhor caminho".  
(A vida)

Dedico, humildemente, este trabalho  
ao meu avô, Livrinho Aita (**Vô Librino**),  
exemplo de trabalho, personalidade e sabedoria.

Às minhas três mulheres:  
Marilei (esposa),  
Larissa (filha) e  
Terezinha (mãe),  
companheiras e parceiras  
em todos os momentos.

## AGRADECIMENTOS

Registro, com profunda consideração, meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas, que de maneira positiva incentivaram ou criticaram este trabalho, e, principalmente, a todos que acreditaram nele ou, de alguma maneira, depositaram confiança em mim e em minha capacidade.

Agradeço profundamente ao meu orientador, pelo seu conhecimento, sua capacidade, paciência, compreensão, respeito, amizade e outras qualidades que individual ou conjuntamente foram cruciais para que este trabalho fosse concluído.

Às contribuições valiosas do Luiz (LSC), do Mariani (LSC), do Claudio (Mineiro), do Paulo (CPD/UFMS), da prima Vanessa Aita e de outros tantos, que sempre resolveram, pontualmente, problemas que foram surgindo pela frente.

Ao Minora, à Janice, ao Lourival, ao Barazzutti e a tantos outros amigos que me empurraram para chegar até aqui.

Seu Rubens, Negrinha, Tia Marli, de coração, obrigado.

Às minhas duas avós Maria, a Cilidea e a Manoela, pelas suas rezas e orações, sem as quais as forças necessárias para enfrentar tudo que me foi apresentado não seriam encontradas.

Aos meus dois avós falecidos, Bruno e Livrinho, e ao meu pai, Antonio, e minha mãe, Terezinha, pelos exemplos de personalidade, honestidade, lisura, humildade e vontade, que dentro das minhas limitações, tentei seguir.

Aos meus irmãos, Antonio, Claudio e Carlos André, sempre parceiros, sempre prontos, sempre amigos, sempre irmãos.

A Deus, Pai Maior, que dá oportunidades, aplica castigos, nos faz pensar, agir, tirar lições, receber justiça.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 OPÇÃO PELO ESTUDO	1
1.2 O PROBLEMA CENTRAL DA PESQUISA	4
1.3 MÉTODOS EMPREGADOS	4
1.3.1 <i>Hipermídia Adaptativa</i>	4
1.3.2 <i>Redes Neurais Artificiais</i>	5
1.4 RELAÇÃO COM OUTROS TRABALHOS AFINS	5
1.5 OBJETIVOS	8
1.5.1 <i>Geral</i>	8
1.5.2 <i>Específicos</i>	8
1.6 JUSTIFICATIVA	9
1.7 ESTRUTURA DO TEXTO	11
1.8 METODOLOGIA DE PESQUISA	12
1.8.1 <i>Delimitação das Fronteiras da Pesquisa</i>	14
1.8.2 <i>Tratamento dos Dados</i>	16
<b>2. HIPERMÍDIA ADAPTATIVA</b>	<b>18</b>
2.1 INTRODUÇÃO	18
2.2 HISTÓRICO	20
2.3 ESPAÇOS DE ADAPTAÇÃO	21
2.3.1 <i>Apresentação Adaptativa</i>	22
2.3.2 <i>Navegação Adaptativa</i>	23
2.3.3 <i>Classificação de Links</i>	24
2.4 ARQUITETURA DE SISTEMAS HA	25
2.5 MODELAGEM DO USUÁRIO	26
2.5.1 <i>Configuração do Modelo do Usuário</i>	27
2.5.2 <i>Acesso Universal</i>	28
2.5.3 <i>Informação Universal</i>	29
2.6 MÉTODOS E TÉCNICAS DE NAVEGAÇÃO ADAPTATIVA	29
2.7 ADAPTAÇÃO PROATIVA	36

2.7.1 O Fecho e o Processo de Adaptação	36
2.8 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	38
<b>3. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS</b>	<b>39</b>
3.1 BREVE HISTÓRICO DAS RNA	42
3.2 TREINAMENTO DE RNA	43
3.2.1 Treinamento Supervisionado	43
3.2.2 Treinamento Não-supervisionado	44
3.2.3 Treinamento por Épocas	44
3.2.4 Treinamento Contínuo	45
3.2.5 O Algoritmo Backpropagation	45
3.3 NEURÔNIOS E CAMADAS	46
3.4 REDES NEURAIS RECORRENTES	46
3.4.1 Redes de Elman e de Jordan	47
3.5 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	49
<b>4. MODELO PARA PREVISÃO DE NAVEGAÇÃO ADAPTATIVA USANDO REDES DE JORDAN</b>	<b>50</b>
4.1 O SISTEMA ADAPTATIVO CONSTRUÍDO	50
4.2 FATORES DE AGILIZAÇÃO DO PROCESSO DE ADAPTAÇÃO	50
4.3 PROGRAMA BÁSICO PARA A COLETA DE INFORMAÇÕES DE NAVEGAÇÃO	52
4.4 ARQUITETURA DA REDE NEURAL	57
4.5 O TREINAMENTO DA REDE NEURAL	58
4.6 APLICAÇÃO DO PROGRAMA DEFINITIVO	58
<b>5. RESULTADOS OBTIDOS</b>	<b>61</b>
5.1 QUANTIFICAÇÃO DOS DADOS	61
5.2 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	66
<b>6. ANÁLISE</b>	<b>67</b>
6.1 ANÁLISE MULTIVARIADA	68
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>73</b>

7.1 RESOLUÇÃO DAS PROPOSTAS INTRODUTÓRIAS _____	73
7.2 LIMITAÇÕES ENCONTRADAS _____	74
7.2.1 <i>Dificuldades Processuais</i> _____	74
7.2.2 <i>Limitações das Redes Neurais</i> _____	75
7.2.3 <i>Propostas a Investigações Futuras</i> _____	75
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____</b>	<b>77</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo Usuário-Adaptação: <i>Loop</i> Clássico (Palazzo, 2000) _____	20
Figura 2 – Espaços de Adaptação em HA (Brusilovsky, 2001) – Ênfase em Navegação Adaptativa _____	22
Figura 3 – Principais componentes de um SHA, adaptado de Palazzo (2002)	25
Figura 4 – Tipos de fechos em grafos de duas setas (Palazzo, 2000) _____	37
Figura 5 – O neurônio biológico _____	40
Figura 6 – Modelo Neural Artificial adaptado de Haykin (2001) _____	41
Figura 7 – Esquema representativo do treinamento supervisionado _____	44
Figura 8 – Esquema geral de uma rede de Elman _____	47
Figura 9 – Esquema geral de uma rede de Jordan _____	48
Figura 10 – Tela de apresentação da navegação livre _____	53
Figura 11 – Tela de apresentação do trabalho No. 1 _____	53
Figura 12 – Tela de apresentação do trabalho No. 2 _____	54
Figura 13 – Tela de entrada do sistema SHARNA _____	55
Figura 14 – Formulário para cadastro de usuário novo _____	55
Figura 15 – tela inicial da apostila de coleta de informações _____	56
Figura 13 – Passo anterior do usuário _____	59
Figura 14 – Passo atual e menu adaptado _____	59
Figura 18 – Rede de Jordan com um neurônio na entrada _____	64
Figura 19 – Rede Jordan com os pesos iniciais _____	65
Figura 20 – Rede Jordan com seis neurônios na camada de saída _____	66

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Métodos e Técnicas de Navegação Adaptativa em Sistemas de HA (Palazzo, 2000)	35
Tabela 2 – Observações levantadas no programa utilizado para coleta de informações (SHARNA)	61
Tabela 3 – Demonstrativo dos resultados das previsões das RNAs	63
Tabela 4 – Percentuais de acertos obtidos na previsão de navegação pelas RNAs	67
Tabela 5 – Tabela trivariada que representa a hipótese 1	69
Tabela 6 – Tabela trivariada que representa a hipótese 2	70
Tabela 6 – Tabela trivariada que representa a hipótese 3	71

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CPD	Centro de Processamento de Dados
CTC	Centro Tecnológico da UFSC
HA	Hipermídia Adaptativa
HTML	<i>HyperText Markup Language</i> – Linguagem para desenvolvimento de páginas para a Internet
HUSM	Hospital Universitário de Santa Maria
JAVA	Linguagem de programação da <i>Sun Microsystems</i>
JavaNNS	Versão gráfica do simulador SNNS para RNA
LSC	Laboratório de Sistemas de Conhecimento do PPGCC/CTC/UFSC
MCP	Referência a McCulloch e Pitts (1943)
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MySQL	Gerenciador de Bancos de Dados de uso livre
PHP	<i>Hypertext Preprocessor</i> – Linguagem de programação para a Internet
PPGCC	Programa de Pós-graduação em Ciência da computação do CTC/UFSC
RNA	Redes Neurais Artificiais
SHA	Sistema de Hipermídia Adaptativa
SHARNA	Sistema de Hipermídia Adaptativa com Redes Neurais Artificiais
SNNS	<i>Stuttgart Neural Network Simulator</i> – Simulador de RNA
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
WWW	<i>Worldwide Web</i> – a Internet

## RESUMO

Este trabalho é baseado na criação de um modelo de previsão de navegação para usuários em ambientes adaptativos, angariando uma gama de fatores para a promoção de uma maior agilidade no processo de adaptação. Os objetivos foram alcançados privilegiando-se o desenvolvimento de um sistema que, a partir da localização do usuário no ambiente de navegação, previu seu próximo passo e, conseqüentemente, o caminho percorrido para a solução de um determinado problema. O grau de previsão estabelecido comporta uma precisão de 66,15%.

O sistema de previsão proposto aplica técnicas de navegação adaptativa (orientação direta, classificação adaptativa e ocultação). Elas promoveram a orientação do usuário no ambiente de navegação, a partir da utilização de redes neurais recorrentes, fornecendo ao processo adaptativo "quesitos de aprendizagem" advindos de navegações anteriores.

Na hipermídia adaptativa (HA), dentro da ampla noção inerente ao "modelo de usuário", a rede reconhece e classifica padrões de comportamento, considerando sobretudo a preponderância das necessidades e expectativas do usuário, crucial ao processo de adaptação. As redes neurais artificiais (RNA) permitem, a cada conjunto de navegações, o reconhecimento de novas padronizações.

Para tanto, a implementação proposta para o sistema de navegação adaptativa utilizou modelos de redes neurais recorrentes. No estabelecimento deste ambiente, os usuários puderam navegar livremente ou resolver trabalhos específicos. A partir de então, foi possível avaliar a eficiência do uso destes modelos e estimar os graus de escolha de um em detrimento de outro, para cada situação.

## ABSTRACT

This paper is based on the creation of a forecast of navigation model for users at adaptative environments, obtaining a variety of elements promoting a larger agility over the adaptation process. The purposes were reached privileging the development of a system that, beginning from the user's localization at the navigation environment, predicted its next step and, consequently, the scoured way for certain problem's solution. The established prevision degree admits a 66.15% of accuracy.

The proposed prediction system applies adaptative navigation techniques (direct orientation, adaptative classification and occultation). They promoted the user's orientation at the navigation environment, starting from the use of recurrent neural networks, furnishing to the adjustable process "learning questions" prevailing from previous navigations.

At the adaptative hypermedia (AH), contained by the wide notion inherent to the "user model", the network recognizes and classifies behavior patterns considering above all the user's needs and expectations predominance, crucial to the adaptation process. The artificial neural networks (ANN) allow, new patterns recognition, to each navigation gathering.

For this intention, the proposed implement for the adaptative navigation system used recurrent neural network models. During this environment establishment, users could freely navigate or solve specific tasks. Since then, it was possible evaluating the efficiency of these models use and estimates one's choice degrees in other's detriment, for each circumstance.

## **1. INTRODUÇÃO**

A idéia de apresentação do trabalho sustenta-se na elevação da complexidade informacional e no crescente confronto desta com os usuários de uma maneira geral. O alcance interpretativo e a elevação do aprendizado processam-se em diferentes níveis e graus de exigência. Cabe, portanto, a criação de meios para se avançar nas buscas que dêem conta de assegurar uma vitalidade a esta nova processualidade. Neste contexto, o protocolo adaptativo fornece atrativos caminhos de busca.

### **1.1 Opção pelo Estudo**

A quantidade de informações oferecida, principalmente a partir de eventos significantes, como a massificação da informação desencadeada pela internacionalização<sup>1</sup> ampliou a abrangência planetária dos mais diversos fluxos de interesses, através do uso da Internet. A acelerada intercomunicação e interligação entre diversos temas estabelecem uma linha muito tênue entre eles, sem deixar claro onde termina um assunto ou área e onde começa outro, fazendo com que as pessoas que usam os dados gerados neste contexto fiquem, diversas vezes, perdidas ou fixas em algum ponto. Os inumeráveis caminhos a seguir, ou o infindável número de opções em termos de objetivos a serem atingidos tiram a clareza ou o foco do alvo.

Neste contexto, um fator relevante encontra-se nas pessoas, responsáveis pela ativação e sobrevivência dos fluxos aí instituídos. Visto que a tendência à massificação informacional pode migrar de uma abrangência mais genérica a uma mais específica, gerando complexidade, principalmente, quando se tem um alcance de nível global, instituído pelo uso da Internet. Mesmo com tentativas de diminuição da complexidade, conforme o estreitamento do alcance, não se consegue uma simplificação satisfatória a ponto de aglutinar as pessoas em contextos específicos.

---

<sup>1</sup> A internacionalização é uma noção que preconiza uma política governamental à promoção do desenvolvimento econômico, em especial, do estreitamento das relações entre nações. Estudiosos, como Mattelart (2000), indicam que esta noção é precursora dos conceitos de mundialização, desenvolvimentismo, entre outros, colaborando para o incremento da idéia de fluxo informacional e de rede, hoje conhecido como globalização.

Esse caráter de *não-presencialidade* é próprio da virtualidade e o grande promotor da chamada *desterritorialização*. Global e local são um e a mesma coisa; a simbolização dada pelo efeito elástico resume o desconforto de se "tele-transportar" a todo instante. Espaços físicos e geográficos não guardam mais um sentido próprio e perdem-se ou trocam de lugar com elementos estéticos de outras culturas. O relógio, o calendário e qualquer noção de tempo perderam a importância natural – o choque e o descarrilamento dos vagões independem do erro no horário, mas tornaram-se dependentes do aumento desordenado da malha ferroviária.

"Os dispositivos *hipertextuais* nas redes digitais desterritorializaram o [significado do] texto. Fizeram surgir um texto sem fronteiras nítidas, sem definição de interioridade. Não há mais um texto, discernível e individualizável, mas apenas texto. Não há uma água e uma areia, mas apenas água e areia".(Lévy, 1996, p. 48).

O usuário, quando navega em um ambiente muito complexo ou extenso, não deixa de sentir uma certa frustração, tendo passado por vários nodos ou páginas, não consegue encontrar a informação que estava procurando e visualiza, ainda, um caminho muito extenso pela frente, interrompendo, inclusive, a navegação (possibilidade de aprendizado). Esta situação pode ser amenizada com uma opção de navegação mais "enxuta", estruturando o *site* de navegação com os caminhos mais adequados ao perfil deste usuário, no momento em que ele se encontra.

Outra preocupação, que diz respeito à otimização da utilização de recursos, é relativa ao tempo e ao espaço usados pelo volume de informações, tanto por quem procura, dado o custo da busca e a disponibilidade de tempo para pesquisar, quanto por quem oferece, considerando-se investimentos em armazenamento e acesso ao que se procura informar.

Palazzo (2002) cita a pesquisa em sistemas complexos adaptativos (Kauffman, 1995; Mayer-Kress, 1995; Heylighen & Bollen, 1996), "que oferece evidências de que, em nível global e com pequeno investimento, grandes redes de informações poderiam se beneficiar da aplicação das técnicas de HA,

capazes de produzir nelas um efeito organizador que poderia ser gerado a partir da observação do comportamento local de cada usuário".

A hipermídia adaptativa pode ser considerada um meio capaz de reduzir o investimento e o espaço usados para produzir e apresentar informações. Através da navegação adaptativa, a HA pode tornar os caminhos mais eficientes e mais organizados, com um número menor de nodos a percorrer e de opções imediatas a seguir, tornando a navegação, inclusive, mais prazerosa no sentido de ajuste, liberdade e autonomia.

Segundo Braga, Carvalho & Ludermir (2000), as RNAs têm a capacidade de aprender através de exemplos, além de generalizar com a informação aprendida, que é, certamente, o principal motivo para solução de problemas, usando RNAs. Utilizar um conjunto pequeno de exemplos e usá-lo para resolver problemas maiores com dados ainda desconhecidos, confirma que as redes neurais vão muito mais longe que apenas mapear relações de entrada e saída. Elas podem retirar, de forma explícita, através de exemplos, informações ainda não apresentadas.

Tal característica de aprender e de adaptarem-se as torna um importante instrumento para uso em conjunto com a HA, na modelagem de usuários, utilizando experiências anteriores e preparando um novo modelo, tanto cíclico como imediato, apresentando a melhor opção a cada situação.

O modelo (método) de HA proposto neste trabalho é formado por redes recorrentes de Jordan, usadas como mecanismo de adaptação, treinadas a partir da navegação de usuários anteriores em um ambiente de aprendizado. Na tentativa de prever a navegação do novo usuário, sempre do ponto atual, a partir do próximo passo a informação gerada no passado é trabalhada na situação presente e, posteriormente, a mesma informação é reproduzida e possibilita uma previsão para os passos futuros (evolução da idéia).

Os exemplos usados no treinamento das redes neurais podem ser de usuários que naveguem livremente ou não; que encontrem ou não a solução do problema. Além disso, a rede pode ser atualizada constantemente (treinamento



contínuo) ou atualizada ciclicamente (treinamento por épocas)<sup>2</sup>. Todas estas opções serão analisadas para cada caso específico e será aplicada a que obtiver o melhor resultado, considerando-se sobretudo que a utilização deste modelo, com este conjunto de tecnologias favorece a criação de um ambiente de navegação adaptativa mais adequado ao usuário.

## 1.2 O Problema Central da Pesquisa

Em decorrência das argumentações alinhavadas até o momento, é apresentado o seguinte problema: ***"Como implementar a dinâmica de adaptação para usuários, em complemento à medição da capacidade de predição das redes de Jordan, com diferentes configurações de dados de entrada?"***

## 1.3 Métodos Empregados

Os diferentes métodos de adaptação sugerem acréscimos importantes ao contexto analítico estipulado para este trabalho. Os vários achados, bem como a sua materialização no campo da informática, são fundamentais como gerenciadores de novas condutas metodológicas. Sua inclusão é um requisito básico no construto de qualquer ordem investigativa.

### 1.3.1 Hipermídia Adaptativa

Um Sistema de Hipermídia Adaptativa (SHA) permite que o usuário navegue em um ambiente direcionado às suas necessidades e aos seus desejos.

As técnicas utilizadas no trabalho proposto englobam a capacidade de **mostrar o melhor caminho**, começando pelo próximo passo, **ocultar nodos** ou caminhos desnecessários ou pouco úteis e **mostrar uma classificação** das melhores opções para o próximo caminho. Tais técnicas evidenciam o uso da navegação adaptativa, que é uma das classes diferentes de hipermídia adaptativa.

---

<sup>2</sup> O treinamento de redes neurais será tratado, mais detalhadamente, em seção própria, no capítulo de Redes Neurais

Segundo Brusilowsky (2001), técnicas, como ocultação de links, orientação direta do usuário, classificação de links, entre outras, auxiliam o usuário a "achar seus caminhos no hiperespaço através da adaptação da forma de apresentar os links na rede hipermídia".

No modelo proposto, serão aplicadas estas técnicas de navegação adaptativa, a partir do aprendizado proporcionado por navegações anteriores, com a possibilidade de reconhecer outros parâmetros que possam influenciar na previsão de movimentação no ambiente adaptativo.

### **1.3.2 Redes Neurais Artificiais**

Com a finalidade de representar artificialmente um neurônio biológico e sua capacidade de representar logicamente funções de aprendizado e memória, McCulloch e Pitts (1943) criaram o primeiro modelo de neurônio artificial. Com a evolução dos estudos na área, a principal capacidade reconhecida das redes criadas a partir destes neurônios foi a de aprender através de exemplos, generalizando a informação obtida.

A rede neural constitui-se de uma rede complexa de nodos, segundo Braga, Carvalho & Ludermir (2000), além de representações lógicas de várias formas de comportamento e memória, pode armazenar e intensificar a importância de um fluxo informacional.

A proposta deste estudo é de procurar utilizar o que as RNAs têm de mais atrativo, que é aprender e generalizar, no sentido de tornar comum, propagar a outros indivíduos, através de um modelo de rede neural recorrente, que, além disso, agrega memória à sua funcionalidade. Dessa maneira, poderá armazenar, com mais eficiência, os caminhos anteriores percorridos por usuários para prever as novas navegações.

### **1.4 Relação com Outros Trabalhos Afins**

A base para interfaces adaptativas referendada no modelo do usuário, em HA, é um reforço tecnológico bastante novo. A tônica desta nova área pressupõe a combinação da tecnologia dos sistemas de hipermídia tradicionais com a dos sistemas tutores inteligentes, procurando estabelecer ao usuário condições específicas ao fluxo informacional atingido, adaptando a hipermídia

como um meio de satisfazer usuários com diferentes níveis de conhecimento, objetivos, *background*, experiências no hiperespaço e preferências (Nielsen, 1990).

Considerando o ambiente da *Web*, os projetistas de *sites* vêm colhendo benefícios através da adaptabilidade, especialmente por perceber que a padronização estabelecida para a organização das informações especializadas não consegue atender, satisfatoriamente, as necessidades de informação de milhares de usuários que os acessam (Tori e Rech, 1995).

Levando em conta o modelo de usuário, o avanço tecnológico, o fluxo informacional e ambiência da rede mundial, Schreiber (2003) apresenta objetivo similar, para o quesito de prognosticar passos de navegação em ambiente adaptativo. A preocupação do autor se localiza na revitalização e nas diversas possibilidades situacionais apresentadas. Para tanto, combina a compreensão da importância do tempo de permanência em cada *site* com a utilização de redes Bayesianas<sup>3</sup> como instrumento de ponderação para a previsão da navegação adaptativa. Segundo ele, há quatro linhas básicas de pesquisa na representação do conhecimento incerto (Lauritzen, apud Schreiber 2003, p. 55):

- Modelo lógico (processamento simbólico);
- Modelo lingüístico (interpretação de sentenças/raciocínio *fuzzy*);
- Teoria de Dempster-Shafer (funções de crença);
- Modelo Estatístico (cálculo de probabilidades).

Tais modelos e teoria são importantes indicativos de que a navegação solicita, para sua implementação, de estratégias mais aproximadas às necessidades do usuário.

Isto, por si só, demonstra a necessidade de outro viés para a análise de condutas de navegação em ambientes adaptativos, que dêem conta de atender os diversos graus de complexidade e subjetividade característicos do processo

---

<sup>3</sup> Destacando que as redes Bayesianas, baseadas no teorema de Bayes, podem ser utilizadas como mecanismo de raciocínio incerto, baseado no modelo estatístico.

de evolução social. Tal observação resulta da tentativa de prescrever uma atitude não-reducionista, bem como a redução da diretividade na construção de metodologias de análise para navegação adaptativa.

Neste sentido, o estudo opta pela utilização de redes neurais para a definição da previsão de navegação e de adaptação, pois as RNA não seguem regras de treinamento ou aprendizado, e sim aprendem com a experiência, agregando, com o passar do tempo, conhecimento e aprendizado próprios (noção relativa à ambiência).

Dentre as RNA, as que utilizam processamento temporal são as mais indicadas para tarefas de reconhecimento de padrões dinâmicos que se alteram com o passar do tempo. Mas apenas isso não é o suficiente. Também é preciso agregar memória à RNA, para que ela seja considerada dinâmica e para que possa perceber as variações de comportamento e de sinais no decorrer do tempo (noção relativa à temporalidade).

As redes de Elman (1990) e Jordan (1986) possuem estas características, sendo a primeira parcialmente recorrente, pois a rerepresentação é feita da camada escondida ou intermediária para as entradas, enquanto que nas redes de Jordan, a recorrência é feita das saídas para as entradas, além de existir, também, entre as camadas de contexto ou ocultas (noção relativa à recorrência).

É interessante destacar que o estudo considera, para o início de uma diferenciação da noção de temporalidade, o tempo mínimo de permanência em cada página de informação, em toda a navegação do usuário, para que locais que visitou por curiosidade ou engano, e não relevantes para atingir seus objetivos, sejam considerados como ruído informacional (noção relativa à entropia)<sup>4</sup>.

Em complementaridade ao exposto, a investigação utiliza mais de um treinamento para RNA e escolhe dentre eles, qual o melhor para cada situação proposta, baseando-se em resultados atualizados. O treinamento padronizado estabelecido é o por épocas, em situações em que o resultado determina o que

---

<sup>4</sup> Cabe destacar que uma apreciação mais apurada dos conceitos aqui utilizados será realizada no capítulo de Redes Neurais Artificiais.

deve ser feito (o mais eficiente). Nos casos em que este padrão é de difícil determinação, é usado o treinamento contínuo, para assegurar a busca incessante de uma escolha mais adequada.

Sendo assim, são aspectos fundamentais a se considerar para um constructo futuro seguro e abrangente relativo à hipermídia adaptativa, tornando mais prazerosos e menos complexos os ambientes de navegação, a combinação da tecnologia de sistemas de hipermídia tradicionais com a dos sistemas tutores inteligentes, a comparação entre adaptabilidade e padronização de informações, o tempo contado como um fator de representação do conhecimento incerto e a implementação de uma dinâmica de adaptação, além de outras idéias e tecnologias que possam surgir.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Geral**

- Medir a capacidade de previsão das redes de Jordan em ambientes de hipermídia adaptativa.

### **1.5.2 Específicos**

- a) Utilizar RNA, com foco em redes recorrentes de Jordan, com treinamento contínuo e por épocas, distintamente.

Em relação à posição do usuário:

- b) Prever o próximo passo de navegação;
- c) Classificar e apresentar uma lista dos melhores passos a seguir;
- d) Selecionar, entre as arquiteturas de RNA, qual a melhor, para determinada situação;

Em relação aos resultados:

- e) Comparar resultados de treinamento por opção: navegação livre e resolução de problemas;
- f) Comparar os resultados da rede de Jordan com os de outras redes recorrentes, como Elman e *Feedforward*, através de simuladores;

- g) Comparar os mesmos resultados com os obtidos em outros trabalhos, como previsões utilizando redes Bayesianas.

## **1.6 Justificativa**

Considerando que a Internet ampliou a popularização da informática e que, neste contexto, a hipermídia adaptativa é tomada como uma área relativamente nova e de conhecimento restrito, justifica-se a procura e o estabelecimento de ferramentas associadas que possibilitem uma melhor eficiência na adaptação da navegação.

A capacidade de adaptação em domínios mais amplos carece de um grau satisfatório, visto a lacuna existente entre as tecnologias disponíveis e sua utilização. A contemplação e a discussão, neste sentido, poderão avançar em conformidade com as possibilidades de seu emprego. A timidez em progredir é presa da falta de regularidade de estudos mais diversificados, uma necessidade proeminente ao encaminhamento de trabalhos comparativos, bem como a própria evolução acadêmica.

O campo beneficiário deste trabalho advém da abrangência genérica que permite o alcance de situações fora de contexto, que não são visualizadas ou definidas de início em um problema qualquer, e amplia as possibilidades analíticas. Todavia a adaptação é uma ocorrência de caráter ambiental e poderá desencadear o uso da hipermídia, com novas ferramentas, em diversas áreas (educação, educação à distância, marketing, finanças, aplicações no mercado financeiro, empreendedorismo, etc.). A tônica é dinamizar a relação do usuário a partir de sistemas inteligentes, preconizando o grau evolutivo em questão.

Mesmo existindo trabalhos recentes para previsão em HA, abre-se uma boa possibilidade para a comparação de resultados e, inclusive, a evolução das técnicas de previsão adaptativa. Neste sentido, Braga, Carvalho & Ludermir (2000) destacam que o uso de redes neurais não procura obter regras, como no simbolismo da Inteligência Artificial (IA), nem o comportamento probabilístico, como no caso das Redes Bayesianas, mas sim mensurar a intensidade das ligações neurais em curso, obtendo, com isto, um alcance mais amplo e consistente, através da experiência e do aprendizado.

A aplicabilidade de uma solução agregada a redes neurais é compatível a situações em que não existam regras bem definidas quanto ao comportamento, com variações aleatórias ou pouco esperadas, mas que um conjunto de ocorrências e experiências poderá detectá-las e prevê-las com eficiência. A exemplo de situações que necessitam versatilidade, rápida assimilação de conhecimento e ruptura nas regras em vigor, como um choque econômico, uma nova doença ou guerra. A decisão a ser tomada a seguir é assunto novo e baseia-se na combinação de fatores amalgamados na experiência, no conhecimento e no aprendizado.

Neste sentido, um sistema adaptativo de aprendizado dinâmico e de evolução interativa com o usuário justifica-se como componente de buscas satisfatórias para situações que possam surgir inesperadamente.

Um estudo combinado de redes neurais e navegação adaptativa se justifica, em primeiro lugar, pela complementaridade inerente aos dois temas. A soma de fatores subjetivos e de difícil normatização, como as expectativas padronizáveis do usuário, pressupõe a utilização de um modelo que possa se adaptar dinamicamente e evolua em conformidade às diferentes necessidades e situações postas.

As formas de navegação em fecho<sup>5</sup>, nas quais o usuário avança e retorna com frequência no ambiente de navegação, dificultam sua previsão por redes diretas e sem memória. Com as redes recorrentes, é possível armazenar passos anteriores de navegação, enquanto a rede é treinada ou aplicada para prever a navegação futura, a partir da situação atual.

As redes de Jordan recorrem da saída para o contexto, que é utilizado como nova entrada, criando uma situação em que várias entradas são consideradas. Isso transparece, em dado momento, que estas entradas são considerados individualmente e em conjunto.

As contribuições referentes a este trabalho, além de complementar estudos já realizados, têm sua maior implicação no contexto de apoio à

---

<sup>5</sup> As formas de navegação em fecho são apresentadas mais detalhadamente em seção própria, no capítulo de Hipermissão Adaptativa.

complexidade em formação e, fundamentalmente, na degradação informacional que a acompanha.

### **1.7 Estrutura do Texto**

Para melhor entendimento da pesquisa, este texto foi dividido em sete capítulos. A investigação inicia com um esboço introdutório, no primeiro capítulo, que arrola um acontecimento demarcatório para o contexto de entendimento da noção de *virtualização*. Demonstrando de forma sintética como os canais de comunicação ou atendimento foram se estabelecendo no contexto institucional mundial.

Em seguida são elencados os objetivos justapostos às motivações e às justificativas, com o intuito de trazer uma relação aproximada com outros estudos do gênero. Depois, no segundo capítulo, a metodologia é apresentada, situando o leitor no formato de como a pesquisa será conduzida. Enfatizando as fases e limitações proposicionais da investigação.

Em decorrência, passa-se para as definições da base conceitual do trabalho, no capítulo de número três, considerando-se, sobretudo, as noções de hipermídia adaptativa, com seus métodos e técnicas de adaptação, em especial o enfoque à classe da navegação adaptativa. A seguir, no quarto capítulo, se estabelece a origem das redes neurais artificiais (conceituação), suas aplicações e vantagens, bem como sua capacidade de aprender e generalizar. Demonstrada a escolha por redes recorrentes para a efetivação do estudo, em módulo reflexivo, é estabelecida uma cogitação sobre a relação dos conceitos de adaptação da HA e as características de aprendizado das RNAs.

O próximo capítulo trata do desenvolvimento da investigação, apresentando a preparação do ambiente, a definição, o desenvolvimento e a aplicação do modelo instituído para a análise e previsão indicadas. Tal conjuntura possibilitará a apresentação das situações e ocorrências encontradas durante o desenvolvimento do estudo.

No capítulo seguinte, os resultados recebem um tratamento objetivo e lógico, com a apresentação de quadros, localizando escolhas e destacando ocorrências significativas para o estudo, restituindo ao mesmo uma interpretação impessoal dos dados obtidos.



Em decorrência, no sexto capítulo, a interpretação dos resultados é realizada de forma comparativa, avaliando-se e criticando-se os principais tópicos que a pesquisa suscita no contexto da navegação adaptativa. Será elaborada uma discussão com opinião pessoal, comparando as informações obtidas com expectativas e possibilidades de aplicação prática.

No módulo conclusivo, o sétimo capítulo, abre-se um leque para as considerações finais, situação onde os resultados obtidos são comparados com as propostas introdutórias, as limitações encontradas e as propostas a investigações futuras.

### 1.8 Metodologia de Pesquisa

A metodologia empregada parte da pressuposição de encontrar alternativas para uma perspectiva de análise entre interioridade e exterioridade. Ou seja, a efetivação do pensamento sistêmico como suporte prático de ajuda à vida cotidiana. O sentido inverso, de realimentação de condições do sistema por variáveis ambientais, também fica contemplado.

Nesse sentido, o conceito de cibernética e o sistêmico<sup>6</sup> agregam um alto grau de abstração e generalização, fornecendo um marco formal que pode ser atribuído aos conteúdos mais diversos. Instituições, famílias, o homem, podem ser contemplados como sistemas que se auto-organizam e, dessa forma, sofrer análises em conformidade à avaliação desejada. Todavia, o risco de se utilizar tais modelos liga-se diretamente à vantagem que os mesmos oferecem, a sua capacidade de abstração. Tal situação tem ocorrência freqüente no campo científico; a solução de problemas práticos choca-se muitas vezes com quesitos de cientificidade e limita-se à apresentação de modelos que perdem sua viabilidade.

GLASERFELD & SIMON, apud WATZLAWICK (1994), é apresentado como o introdutor do conceito de **viabilidade**, entendendo-o como capacidade de sobrevivência<sup>7</sup>, como condição valorativa que, dentre muitas e diferentes

---

<sup>6</sup> Cabe destacar que os dois conceitos são elementares e intrínsecos ao contexto da computação.

<sup>7</sup> Designação geral do conceito de educação, relativa à transmissão de valores e conhecimento e a adaptação dos homens em diferentes ambientes. Ver mais detalhadamente em ABBAGNANO (2000, p.305), verbete EDUCAÇÃO.

circunstâncias de realidade, fornece critérios para que um determinado observador possa selecionar informações, distinguindo valores efetuados, de acordo com determinada perspectiva, interesses e objetivos de contemplação de sua temática.

Ao sopesar a viabilidade como parte de um aporte metodológico, existe a possibilidade de uma perspectiva de observação conjugada entre exterioridade e interioridade (ação interior). Assim, é possível questionar pressupostos tácitos, racionais e irracionais, condutores das ações dos sujeitos que participam de uma ação específica. Dessa forma, cada participante tem a possibilidade de examinar a utilidade das descrições e observações de si mesmo e de seu mundo circundante, o que é favorável ao quesito adaptativo em proposição.

SIMON, apud WATZLAWICK (1994), observa que em situações de análise, o fato de o analista se considerar como um elemento somente participante da ação exterior, ou seja, fora da situação analisada, leva-o a conformar-se com descrever as pautas de conduta e entrelaçá-las, formando modelos.

Nesse sentido, não interessam ao observador exterior a particularidade, os motivos, as capacidades ou limitações, os erros e acertos individuais. Basta apenas que o sistema analisado permita a descrição de padrões de conduta, assinalando regras e seus enlaces. Porém, quando se almeja encontrar e analisar os processos interativos do sistema, existe a necessidade de condutas prescritivas que indiquem como e quando se deve fazer ou desejar fazer algo.

É como num jogo, onde o jogador necessita orientar-se (medida de valoração) para eleger qual, dentre todas as condutas imagináveis, é a melhor. Mas ao contrário de jogar uma partida de tênis, por exemplo, não está claro qual regra se deverá aplicar para obter sucesso e que critérios indicarão os movimentos certos e os errados, o que dificulta de certa forma a apreciação correta e de antemão dos efeitos das ações.

Desta forma, a introdução de uma perspectiva exterior na perspectiva interior descortina a possibilidade, a necessidade de encontrar ou inventar soluções alternativas. O sentido e o não-sentido das decisões são

determinados pelo contexto de interação produtiva, e isso só poderá ser apreendido limitadamente desde uma perspectiva interior. Com a inclusão de uma perspectiva exterior existe a possibilidade de elucidá-lo, permitindo a inclusão de uma valoração dos efeitos da ação sobre os objetos e propósitos necessários ao desenvolvimento de estratégias alternativas.

Tomando o exemplo de situações práticas, considerando-se o paradoxo de que a solução empreendida produz o problema, se observa em simples acontecimentos (...) *variações mínimas – em referência aos esforços – de ações que conduzem a importantes modificações: não fazer algo é por geral muito menos caro e mais fácil que encontrar uma "solução". A solução se encontra depois, por si só (SIMON, apud WATZLAWICK, 1994, p.141).*

O ponto inicial desta conduta metodológica prevê exatamente a inclusão da viabilidade como referencial de abordagem analítica pretendida para a conjuntura adaptativa em curso.

### **1.8.1 Delimitação das Fronteiras da Pesquisa**

A epistemologia aponta uma série de fatores intervenientes na construção do conhecimento científico (Bourdieu et al., 1999). Dentre eles, as bases de observação dos diversos trabalhos, nas mais variadas áreas do conhecimento, são motivo de revisões regulares. É prudente que ao menos se estabeleça um esboço com a devida demarcação de lacunas interpretativas, apontando novas possibilidades para aqueles que objetivam seguir as mesmas condutas.

#### **1.8.1.1 Em Relação aos Limites Espaciais e Temporais da Investigação e Definição da População Investigada**

Os testes foram realizados entre novembro de 2003 e março de 2004, com a aplicação de um sistema adaptativo disponibilizado através da Internet, para usuários do LSC (Laboratório de Sistemas de Conhecimento), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e outros alunos dos cursos de graduação e pós-graduação do CTC (Centro Tecnológico), da mesma instituição; alunos de cursos na área de informática e outros usuários de computadores do Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM); Usuários, bolsistas e servidores do CPD (Centro de Processamento de Dados) da

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); convidados e voluntários com experiência em ambiente Windows e Internet, na região de Santa Maria, RS, e grande Florianópolis, SC.

#### **1.8.1.2 Amostra**

Para efeito de quantificação, foi escolhida a amostragem por conveniência, ou seja, adotou-se o critério de direcionar os trabalhos, com a proposição de um problema a ser resolvido. Foi preponderante à amostragem a seleção representativa de indivíduos com experiência variada em computação; desta maneira, mesmo com um plantel reduzido na amostragem, o resultado representativo do todo se torna significativo, considerando-se, sobretudo, que as RNAs têm como uma de suas principais características o alcance de bons resultados a partir de amostras pequenas.

#### **1.8.1.3 Instrumento de Observação**

Utilizou-se um sistema adaptativo de navegação para aprendizado com informações sobre utilização do Windows 98, com registro de informações de navegação, cadastro de usuários e comunicação com o desenvolvedor, denominado SHARNA (Sistema de Hipermídia Adaptativa com Redes Neurais Artificiais).

#### **1.8.1.4 Técnica de Observação**

O trabalho compreende a aplicação de testes no ambiente da Internet em duas situações distintas:

- a) Navegação Livre: as informações obtidas refletem o movimento espontâneo do usuário, bem como suas preferências e escolha de assuntos;
- b) Resolução de Problemas: restrição da movimentação no ambiente através da indicação de questões a serem resolvidas.

#### **1.8.1.5 Variáveis Estranhas**

São entendidos aqui por variáveis estranhas, todos os fatores que, mesmo não sendo objetos desta investigação, possam influir no andamento da mesma e dos seus resultados. Com respeito a elas e, de modo especial, deve-se levar em conta todos os efeitos mesclados ao contexto investigativo em processo, tais como: subjetividade da informação do nível de qualificação e

experiência do usuário, imprecisão no tempo real de navegação na Internet, acesso ao processamento interno dos dados na rede neural, fixação da análise da avaliação somente nos dados de saída da rede neural, impossibilidade de examinar a totalidade de erros de interpretação e defeitos lógicos decorrentes de deduções teóricas e dos resultados obtidos.

#### **1.8.1.6 Análise**

Os dados de navegação levantados foram tabulados e normalizados, para a alimentação das redes neurais, com proporções entre 75 e 85% da massa de dados para treinamento e entre 15 e 25% para validação e teste da rede.

As informações obtidas foram submetidas a análises estatísticas, através de análise multivariada.

#### **1.8.2 Tratamento dos Dados**

A quantificação para este nível de análise é suficientemente respondida na estruturação do programa, que faz o seu recolhimento de forma hierárquica e dinâmica. No entanto, cabe destacar os indícios de uma análise MULTIVARIADA.

Para isto, SCHRADER (1974) traz um importante exemplo anedótico relativo à ação de variáveis intervenientes:

*"Um padre recém ordenado visita famílias de agricultores. E ao questionar o porquê de possuírem uma prole tão numerosa recebe como resposta que a culpa advém da "maria-fumaça". Quando o trem passa pela manhã, desperta os moradores. A questão é que é muito cedo para levantar e tarde para adormecer novamente (p. 237)".*

Existe neste exemplo a condição de se observar uma relação entre variável independente: 'maria-fumaça', variável dependente: comportamento procriador, determinando o surgimento entre ambas de características intervenientes. Deve-se, no entanto, distinguir se a influência da característica independente sobre a dependente ocorre conjugada ou separadamente. Caso a característica independente se correlacione com as variáveis dependentes,

ocorrerá uma adição de influências, determinando a inclusão de relações aditivas.

Tal situação amplia as condições de análise para dados mais complexos, o que suscita a reunião das variáveis implicadas em uma planilha de mensuração. Cabe salientar que a demonstração gráfica de tal situação (análise MULTIVARIADA) torna-se delicada devido ao fato de a mesma incitar a utilização, em um plano bidimensional, das explicações necessárias ao seu entendimento, o que limita a sua compreensão e a demonstração de suas possíveis combinações (um limitador para a análise física imediata).

Neste sentido, a qualificação entra como componente resultante que será construída através da planificação dos diferentes caminhos percorridos pelos usuários do programa proposto. Como principal ponto de referência, a escolha do usuário e a previsão do programa serão os indicativos para a análise qualitativa no tocante à adaptação. Posteriormente, se disponibilizará uma análise específica para cada ambiente e grupo de usuários que poderão ser articulados ou combinados com diversos graus de interesse, tais como sexo, idade, profissão, conhecimento.

Essa articulação (dados quantitativos com dados qualitativos) objetiva amenizar e recondicionar, a partir da técnica de análise multivariada, uma situação de risco. Ou seja, ao se adotar um sistema definido pelo equilíbrio pontual, a exemplo de um corte sincrônico, se permite a fuga de elementos importantes constituídos no passado e eliminados na homogeneização das relações, próprias de uma análise deste porte. Mesmo operações elementares automáticas de tratamento da informação solicitam escolhas epistemológicas consistentes, para viabilizar uma compreensão mais apurada de **contexto** (estímulo/resposta/reforço), objeto integrante desta proposta de previsão adaptativa de navegação.

## **2. HIPERMÍDIA ADAPTATIVA**

A necessidade de apresentar um maior número de informações disponíveis a todos os usuários que as procurem tem feito do ambiente da WWW um gigantesco labirinto.

Toda vez que se pesquisa a respeito de um determinado assunto, uma avalanche de opções é apresentada. Selecionada uma opção para o assunto pesquisado, é apresentado um conteúdo bem organizado até, com índice, capítulos e seções, mas de uma complexidade tão grande, que deixa o usuário totalmente perplexo, muitas vezes perdendo muito tempo para encontrar a solução desejada. Este tempo também contribui para que o usuário sinta uma certa frustração, que pode chegar à desistência em procurar a solução.

Esta situação é ainda mais grave, considerando-se que, na maioria dos *sites* da Internet há uma preocupação de informar o máximo possível, gerando uma enorme desorganização.

A complexidade dos ambientes de educação tende a minimizar os resultados de aprendizado. Por mais que o aprendiz necessite de uma grande alimentação de informações, chega um ponto em que tudo se torna muito complexo e desestimula a pesquisa, devido à confusão gerada pela complexidade (Morin, 2001).

A hipermídia adaptativa tem, como um de seus principais atrativos, a capacidade de organizar ambientes de hipermídia, conduzindo o usuário, omitindo *links* desnecessários, agregando informações e tornando o ambiente de navegação mais atrativo, de acordo com o perfil e as necessidades que representam cada modelo de usuário.

### **2.1 Introdução**

Sistemas de Hipermídia Adaptativa (SHA) são usados sempre que é preciso adaptar recursos e conteúdos de hipermídia apresentados nos mais diversos formatos e vindos de todas as fontes de mídia de informação ao perfil ou modelo de um ou mais usuários.

A HA é uma tecnologia relativamente nova dentro da área de interfaces adaptativas e baseadas no modelo do usuário. Essa nova área combina a

tecnologia dos sistemas hipermídia tradicionais com a dos sistemas tutores inteligentes, a fim de proporcionar a cada usuário em particular a informação mais apropriada, em um formato desejável (Nielsen, 1990).

A adaptabilidade em hipermídia é proposta como um meio de satisfazer usuários com diferentes níveis de conhecimento, objetivos, *background*, experiências no hiperespaço e preferências (Nielsen, 1990).

No ambiente *Web*, a adaptabilidade vem trazendo grandes benefícios especialmente pelo fato de que os projetistas de *sites* vêm percebendo que um *site* padrão não consegue atender as necessidades de informação específicas de milhares de usuários que os acessam e especialmente não conseguem exibir essas informações da forma mais adequada para cada usuário (Tori e Rech, 1995).

As fontes podem ser bancos de dados, Internet, serviços, etc. e a apresentação em qualquer formato, como texto, áudio, vídeo, etc., ou combinações entre eles.

Os sistemas de HA têm aplicação direta em áreas que possuem modelo e/ou perfil organizável de usuário, como educação, marketing, lazer, processamento de imagens (reconhecimento de padrões), comércio eletrônico, etc.

Segundo Palazzo (2002), os sistemas de HA devem satisfazer três critérios básicos:

- a) Ser um sistema de hipertexto ou hipermídia;
- b) Possuir um modelo de usuário;
- c) Ser capaz de adaptar a hipermídia do sistema usando este modelo.

Na figura 1, é demonstrado o modelo clássico de adaptação ao usuário, onde, a partir dos dados coletados sobre o usuário (perfil, preferências), é elaborado um modelo seu, que utiliza regras de adaptação processadas pelo SHA, gerando um efeito adaptativo, que são mudanças que alteram o SHA e os dados do usuário, criando um novo modelo, de forma cíclica.



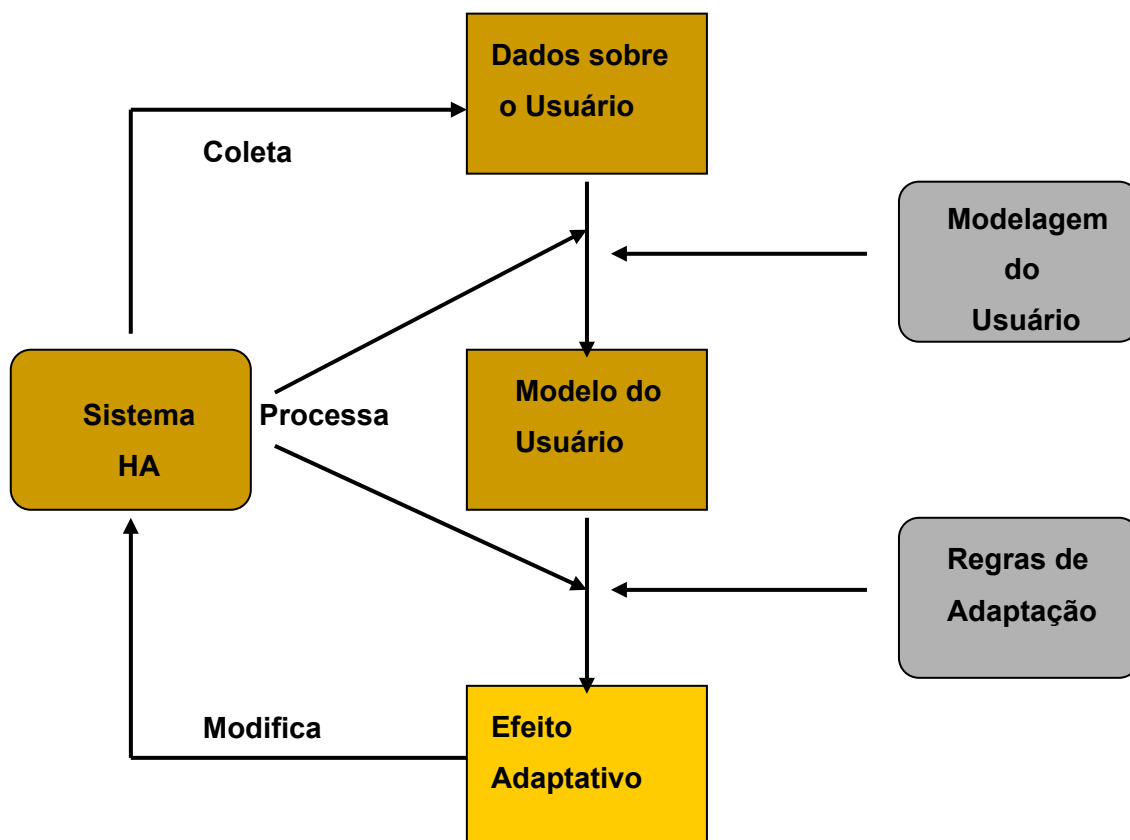


Figura 1 – Modelo Usuário-Adaptação: Loop Clássico (Palazzo, 2000)

## 2.2 Histórico

Este levantamento é baseado no trabalho de Fernandes (1997) e procura mostrar a evolução de modelos que foram considerados ou serviram de base para a formação do conceito de hipermídia adaptativa<sup>8</sup>.

Em 1945, Vannevar Bush publicou um artigo no qual descreveu um sistema chamado Memex, com características de ambiente multimídia, com memória associativa e com *links* para navegar entre seus objetos.

Douglas Englebert, nos anos 60, desenvolveu o Augment System, sistema que aliava a utilização de um *mouse* a um conjunto de acordes musicais, com capacidades genuínas de hipertexto.

<sup>8</sup> As fontes elencadas neste histórico são referenciadas no trabalho citado acima

Em 1987, o programa HyperCard, apesar de rudimentar, estimulou nos clientes de computadores Macintosh o interesse nessa área.

Em 1988, o programa NoteCards era um sistema que coletava e organizava idéias, cada uma representada por cartões, como *links* de relacionamento.

Em 1992, o sistema Intermedia foi o maior sistema hipertexto *multiusuário* com foco nas aplicações em educação e ensino. Fornecia um serviço de anotações, um *browser* para navegação pelos *links* e ferramentas de lingüística. O projeto Athena do MIT, em 1990, foi contemporâneo do projeto Intermedia.

Vários outros surgiram depois, cada um desenvolvido usando uma técnica específica ou com uma aplicação especializada de HA, entre eles, HYPERFLEX e HyPlan (1993), ISIS Tutor (1994), WebChater, HyperTutor e SYPROS (1995), BASAR, Adaptative HyperMan, Hynecosum, e Hyperadapter (1996). Destacando que o ISIS Tutor e o HyperTutor foram desenvolvidos para a área educacional.

Existe, ainda, o sistema Ensemble, construído em 1992, que é um ambiente para análise e síntese de software e documentos multimídia, fornecendo uma estrutura para suporte integrado ao desenvolvimento interativo de linguagem natural e documentos de linguagens formais, com aplicações importantes da tecnologia hipermídia em Engenharia de Software.

### **2.3 Espaços de Adaptação**

Sistema de hipermídia é um conjunto de *nodos* interligados por *links*, com informações locais e alguns *links* que podem remeter a outros *nodos* relacionados. Neste ambiente, podem ser colocadas regras e técnicas de adaptação. Esta pode ocorrer em nível de conteúdo ou dos *links*. Tais níveis demonstram duas classes diferentes de HA, *apresentação adaptativa* e *navegação adaptativa*, respectivamente.

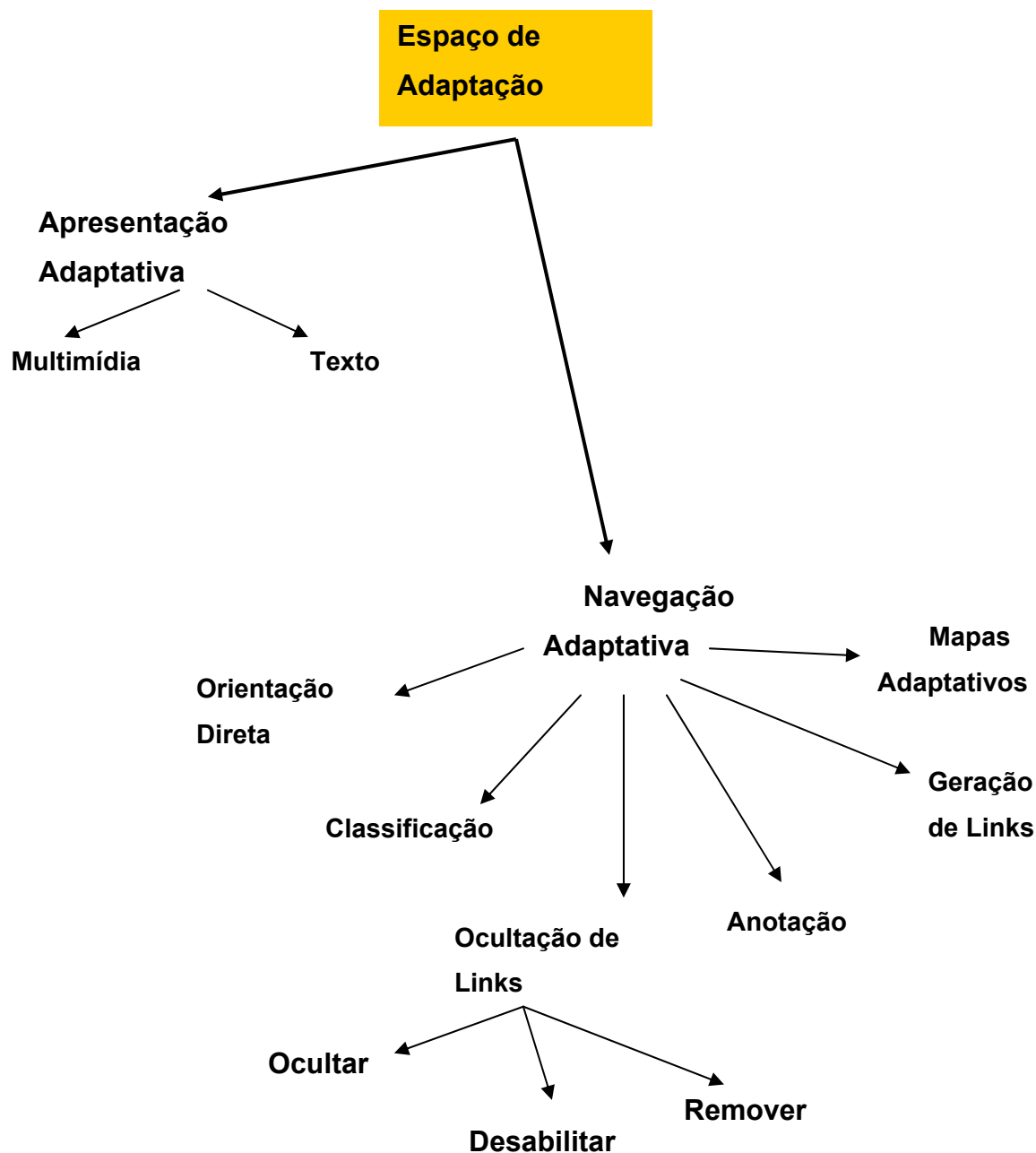


Figura 2 – Espaços de Adaptação em HA (Brusilovsky, 2001) – Ênfase em Navegação Adaptativa

### 2.3.1 Apresentação Adaptativa

A classe de HA dita apresentação adaptativa é usada para adaptar o conteúdo de um *nodo* acessado às características do usuário que o acessa. Pode ser levado em consideração, por exemplo, o seu conhecimento. Um

usuário mais avançado tem à sua disposição, conteúdo diferente do apresentado a um usuário iniciante.

Nos sistemas de HA, em cada *nodo*, podem ser apresentados diversos tipos de conteúdo, como texto, imagens, som, etc. Existem técnicas e sistemas orientados à *apresentação adaptativa de textos* e à *apresentação adaptativa de objetos multimídia*.

Este trabalho dá ênfase à navegação adaptativa, que será apresentada adiante, não necessitando aprofundar conhecimentos em apresentação adaptativa. Mais informações a respeito desta última podem ser encontradas em Staff (1997), Brusilovsky (2001), Palazzo (2002), entre outros.

### **2.3.2 Navegação Adaptativa**

A navegação adaptativa busca orientar o usuário pelo seu "melhor caminho" no hiperespaço, adaptando a forma de apresentar os *links* a ele na rede hipermídia.

O melhor caminho é adaptado tanto ao modelo de usuário, como à "situação atual" dele em relação aos passos da atual navegação, pessoal e global, ou seja, comparando esta situação à dos demais usuários neste mesmo ponto.

Palazzo (2002) apresenta as seis principais tecnologias usadas para apresentar os *links* aos usuários, na tentativa de solucionar diferentes problemas:

- a) Orientação Direta (OD): Decide, em cada ponto de navegação, qual o melhor nodo a seguir. *Em cada ponto, qual o melhor caminho?*
- b) Classificação Adaptativa (CA): Os *links* são apresentados em ordem de relevância, calculada sobre o modelo do usuário. *Em que ordem os links devem ser apresentados?*
- c) Ocultação: Restrição ao espaço de navegação. *Quais links não devem ser apresentados?*
- d) Anotação Adaptativa: Comentários sobre o estado corrente dos nodos são anotados. Vários níveis de relevância. *Como agregar mais informações aos links?*

- e) Geração de *Links*: Opção de mostrar *links* interessantes ao assunto exibido no *nodo* atual. *Como links interessantes podem ser gerados?*
- f) Adaptação de mapas e índices (Mapas Adaptativos): Diversas formas de apresentação de mapas de hipermídia global e local. *Como apresentar mapas e índices?*

### 2.3.3 Classificação de *Links*

Entende-se por *link*, neste ponto, a seleção de opções de acesso aos *nodos* relacionados que, quando *clicados*, conduzem o usuário no ambiente de navegação. Brusilovsky (1996) organiza os links em quatro diferentes classes:

- a) *Links* locais, não contextuais: Lista, menu *pop-up* ou conjunto de botões com a finalidade de identificar caminhos independentes do conteúdo do *nodo* em que se encontram. São links fáceis de manipular e podem ser classificados, ocultos ou anotados.
- b) *Links* contextuais ou "texto verdadeiro": *Links* representados por palavras, frases ou figuras que fazem parte do texto ou *nodo* e, por esta razão, difíceis de ocultar. Podem ser anotados, mas não classificados, por estarem em alguma parte do texto que não pode ser mexida.
- c) *Links* para índices e tabelas de conteúdos: *Nodo* constituído somente por *links*. Normalmente, são não-contextuais. Para que ocorra o contrário, precisam ser implementados como imagem.
- d) *Links* para mapas locais e globais: Mapas, geralmente, são usados para dar uma visão geral de um *site*. A navegação entre os *nodos* é feita diretamente no mapa, por setas ou fronteiras.

Além destes links, existem aqueles que são próprios de cada *browser*, como *Favoritos*, *Histórico*, *Pesquisa*, *Novidades*, etc. Apesar de estar fora do controle do sistema, estes *links* não podem ser desconsiderados, já que pela sua facilidade, o usuário os utiliza com frequência, principalmente como atalhos de navegação. Estas tecnologias apresentadas servem para comparação entre possíveis adaptações no uso da hipermídia.

## 2.4 Arquitetura de Sistemas HA

Os sistemas de HA precisam das características do usuário para produzir adaptação. Estas informações podem vir desde os dados cadastrais do usuário até a observação da navegação do mesmo no SHA. Segundo Palazzo (2002), estas características, em conjunto, formam o Modelo do Usuário (MU) que fica armazenado em uma Base de Modelos de Usuários (BMU). O MU serve como filtro para estrutura de navegação e conteúdos do SHA. Quanto mais o usuário navega, interage mais com o sistema, seu modelo vai evoluindo e a adaptação vai ficando mais rápida e precisa. Como mostra a figura 3, em sistemas de HA, há três elementos essenciais que agem em dependência direta: BMU, IA e FH.

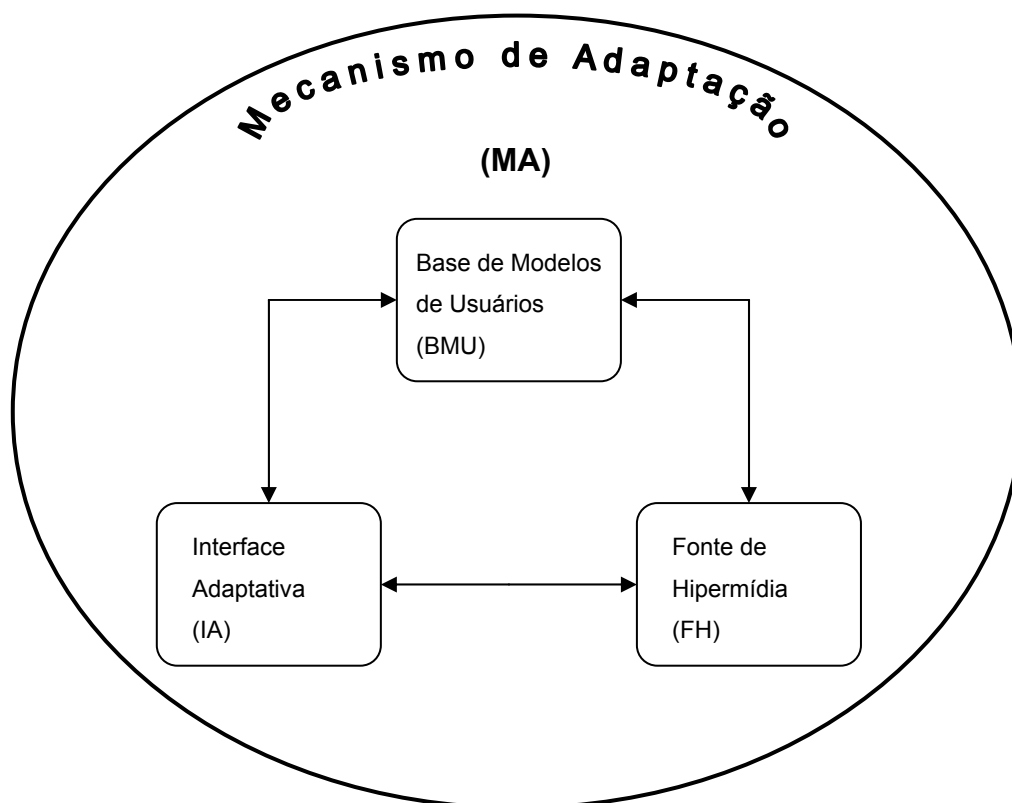


Figura 3 – Principais componentes de um SHA, adaptado de Palazzo (2002)

A interface adaptativa (IA) promove a interação entre o usuário e o sistema através de dois importantes processos: a apresentação de conteúdos e links adaptados ao modelo do usuário e a coleta de informações necessárias

para mantê-lo atualizado. O usuário adquire alto grau de comunicação e interatividade com a interface, desde que ela ofereça isto a ele. A interface vai sofrendo transformações, tanto de disposição dos *links* como de apresentações de imagens, sons, etc., para que o ambiente se torne mais próximo às preferências e necessidades do usuário.

A construção da interface se dá pelas informações do usuário no BMU. O MU é identificado, carregado e é construída uma estrutura básica para a interface, com conteúdos selecionados da FH. Em toda sessão, o modelo de usuário é atualizado, sendo muito importante, também, a atualização da BMU, devido à sua interferência na distribuição dos novos *links*. Há a possibilidade de apenas a fonte de hipermídia ficar localizada no servidor e os demais componentes no cliente.

No caso de uma aplicação para Internet, há várias outras opções que podem ser utilizadas em SHA, como as do servidor (configurações do sistema), quanto do usuário (dados do processo de interação), bem como outros recursos da WWW, como e-mail, *search*, etc.

A seguinte função pode ser usada para definir a programação da adaptação (Palazzo, 2002):

$$f: MU \times CS \times FH \rightarrow IA$$

Isto é, Uma saída chamada interface adaptada (IA) é produzida através da combinação das funções de modelo de usuário (MU), configurações do sistema (CS) e fonte de hipermídia (FH).

## 2.5 Modelagem do Usuário

Segundo Kobsa (2001), há pelo menos duas décadas são feitos estudos e pesquisas sobre modelagem de usuário. No início, a modelagem do usuário e dos outros componentes dos sistemas era feita de maneira conjunta. Apenas em 1985, passou a haver uma separação entre modelagem do usuário e processos de adaptação, mas somente em 1990 surgiu a expressão sistema de *modelagem de usuários*, a partir dos sistemas especialistas da inteligência artificial.

Baseado nos conceitos da IA, estes sistemas possuem interface de programação (*shell*). O *shell* deve oferecer vários serviços, para modelar usuários, como representar fatos ou tipos de características dos usuários, registrar comportamento do usuário, generalizar sua história de interação, verificar novas informações que se apresentam ao modelo, etc.

Para atender estes serviços, o *shell* precisa satisfazer alguns requisitos, como *Generalidade*, ou oferecer as mais amplas possibilidades de configuração para a MU, *Expressividade*, para expressar o maior número possível de tipos de fatos e hipóteses, ao mesmo tempo, e *capacidade inferencial*, ou capacidade de realizar os raciocínios clássicos encontrados na inteligência artificial e na lógica formal.

Pohl (1997) destaca que tais sistemas adotam uma abordagem *mentalística* ou modelam *atitudes proposicionais* do usuário, como preferências, metas, crenças, etc. Kobsa (2001) coloca, ainda, que o comportamento do usuário não tem sido utilizado como um elemento capaz de ser modelado separadamente, e sim como "fonte de informações para estabelecer atitudes proposicionais".

### **2.5.1 Configuração do Modelo do Usuário**

Serão discutidas, agora, as características do usuário que precisam ser consideradas por um sistema adaptativo. Palazzo (2002) ressalta que estas características são dinâmicas e necessitam de ajuste contínuo do modelo do usuário, garantindo sua atualização constante.

- a) **Conhecimento:** Cada usuário possui certo conhecimento sobre o assunto que lhe é apresentado. Este conhecimento é diferente para cada usuário e vai sofrendo modificações com o decorrer do tempo. O modelo do usuário necessita ser atualizado de maneira adequada às modificações que ocorrem no seu conhecimento e o sistema deve reconhecê-las eficientemente.
- b) **Objetivos:** De maneira diferente do conhecimento, os objetivos têm um relacionamento mais claro com a atividade do usuário do que com ele, propriamente dito. Deve ser respondida a questão: "Por



que o usuário usa o sistema de hipermídia, neste momento, e o que quer obter realmente dele?".

- c) História e Experiência: Existe uma diferença funcional entre estas características e o *conhecimento*, pois são consideradas a história e a experiência do usuário anteriores ao hiperespaço atual. A história conta o passado do usuário fora do assunto abordado pelo sistema, mas que possua relevância com ele, como área de atuação, títulos, profissão, formação acadêmica, opinião, etc. Experiência significa sua intimidade com a estrutura do espaço navegado (Vassileva, 1996). Enquanto alguns usuários conhecem melhor o assunto tratado no hiperespaço, outros têm mais experiência sobre a estrutura de navegação.
- d) Preferências: Certas combinações de *links* podem ser escolhidas pelo usuário ao invés de outras. Estas combinações precisam ser informadas pelo usuário e não conseguem ser deduzidas pelo sistema. Segundo Palazzo (2002), as preferências podem ser usadas para criar grupos de usuários que demonstram eficiência como modelo para usuários novos.

Segundo de Rosis et al. (1993), sistemas que propõem modelagem sem a atuação do usuário não são confiáveis, podem errar tanto ao tentar deduzir um modelo, quanto na execução da função de adaptação. A *modelagem automática*, como é chamada, procura deduzir ou definir um modelo de usuário sem considerar componentes, como suas preferências e história, por exemplo, fornecidos pelo próprio usuário, mas torna-se eficiente quando implementa técnicas que utilizam alguma intervenção direta dele.

### **2.5.2 Acesso Universal**

Algumas pessoas possuem necessidades consideradas "especiais" e qualquer produto ou sistema voltado a atendê-las deve conter funcionalidades "especiais" em seu projeto.

Através de seus métodos e técnicas para modelar usuários, a HA contribui sobremaneira para proporcionar acessos e funcionalidades

"especiais". Também torna os sistemas acessíveis a qualquer usuário potencial, pois adapta suas funções aos mais diversos perfis.

Stephanidis, apud Palazzo (2000), desenvolveu um estudo envolvendo HA e acesso universal, onde diversas questões foram levantadas:

- a) As necessidades de adaptação devem ser decididas já com o sistema em funcionamento, mas nunca implementadas depois de uma decisão prévia.
- b) É essencial para o projeto de adaptação o conhecimento do contexto de execução de cada tarefa.
- c) Os sistemas devem funcionar em qualquer tempo, qualquer lugar e ser operados por qualquer um.
- d) Os sistemas devem funcionar em diversos ambientes e plataformas.

### **2.5.3 Informação Universal**

A disponibilidade de toda a informação possível, aos usuários, atende ao princípio da democratização da informação, ou seja, todos têm direito à informação e, principalmente, a toda a informação.

A tendência dos sistemas adaptativos, em geral, é a de utilizar, principalmente, as técnicas de classificação e ocultação de *links*. Neste processo, algumas informações nunca são acessadas ou, até mesmo, têm seu acesso negado ou bloqueado a alguns usuários.

O projeto de um sistema adaptativo deve contemplar, além das técnicas de adaptação que simplificam o espaço de navegação, uma opção de acesso à informação total, sempre que o usuário assim desejar.

### **2.6 Métodos e Técnicas de Navegação Adaptativa**

O usuário precisa ser auxiliado a descobrir quais os caminhos são mais adequados às suas necessidades e seus anseios. Para atender estes quesitos, a navegação usa os métodos de Condução Global, Condução Local, Suporte à Orientação Local (conhecimento), Suporte à Orientação Local (objetivos) e Suporte à Orientação Global.

O método da *Condução Global* (CG) procura conduzir o usuário, que possui um objetivo global da informação, estando esta contida em um ou mais nodos do hiperespaço, ajudando-o a encontrar o melhor caminho, o mais curto possível e com o mínimo de desvios. O usuário é conduzido por uma seqüência de links para alcançar o objetivo desejado.

Segundo Palazzo (2002), a CG é muito importante em sistemas de informações e sistemas de ajuda *on-line*, além de ser o objetivo primário no suporte à navegação adaptativa em sistemas de recuperação de informações hipermídia.

Em sistemas educacionais, o aprendizado é o objetivo global e os caminhos necessários para que o aluno aprenda ou adquira conhecimento e depende de vários fatores, como histórico de aprendizado anterior, conhecimento direto em relação à informação que procura, maneira como estuda ou procura informação, etc. A dinâmica do aprendizado de cada estudante deve ser obtida através de troca de informações com o usuário e utilizada para conduzi-lo por condução global em um sistema educacional adaptativo.

No sistema WebWatcher (Armstrong et al., apud Palazzo, 2002), é sugerido ao usuário, desde o nodo corrente, os links mais apropriados, mostrando a partir do próximo passo. Já os sistemas Adaptative HyperMan (Mathé e Chan, apud Palazzo, 2002) e HYPERFLEX (Kaplan et al., apud Palazzo, 2002) utilizam o método adicional da classificação de *links*, que apresenta os nodos em ordem decrescente de importância, para que o usuário atinja seus objetivos.

Com um alcance mais limitado que a CG, a *Condução Local* (CL) mostra ao usuário o próximo passo e uma lista de *links* considerando as preferências, os conhecimentos e as preferências dele, mas somente como alternativas ao próximo passo. Não é mostrado um caminho a seguir, ou seqüência de *links*.

O *Suporte à Orientação Local* (OL) procura ajudar o usuário a reconhecer qual sua posição na rede local dentro do domínio do sistema. Leva em conta dois fatores distintos, o *conhecimento* do usuário em relação à rede e seus *objetivos* a serem alcançados por sua navegação nela (rede).

Em relação ao conhecimento, procura classificar ou ocultar *links* baseando-se na experiência e aprendizado anteriores do usuário em relação ao assunto. Quanto mais ele conhecer sobre o assunto, mais *links* lhe são mostrados. As mesmas técnicas de ocultação e classificação são utilizadas de acordo com o objetivo da navegação do usuário. A quantidade, a disposição e a informação sobre *links* variam de acordo com a complexidade do objetivo a ser alcançado.

Palazzo (2002) coloca que o Apoio à OL é colocado em sistemas de HA, distintamente, de duas maneiras: utilizando informações adicionais que normalmente são acessadas a partir do nodo corrente, ou limitando os espaços de navegação. Esta limitação tem como objetivo evitar o fenômeno da sobrecarga cognitiva, que é uma quantidade maior e desnecessária de informações que só contribui para complicar as decisões sobre navegação do usuário e, de um certo modo, retira a clareza da interligação entre um assunto e outro.

Palazzo (2000) destaca alguns sistemas que utilizam técnicas e métodos de Hiperídia Adaptativa.

Mostrar os links mais relevantes, levando em conta as preferências do usuário, é o método mais simples de Suporte à OL, segundo Waterworth, apud Palazzo, 2000. No entanto, o método que utiliza o objetivo corrente do usuário é o mais utilizado, como nos sistemas HyPlan, Hynecosum e PUSH. Já o sistema HyperTutor mostra mais links aos usuários mais experientes. Através deste método, é mostrado um número mais limitado de *links* aos usuários menos experientes, aumentando este número conforme vai aumentando sua experiência.

Os sistemas ISIS Tutor, HyperTutor e Hypadapter utilizam a técnica da ocultação de *links* aos usuários que ainda não estão preparados para utilizá-los. Já os sistemas ISIS Tutor e SYPROS ocultam nodos que são considerados como objetivos educacionais de outra lição. Estes dois métodos de OL são especificamente utilizados em sistemas educacionais adaptativos.

Enquanto os métodos baseados em ocultação de links restringem o espaço navegacional do usuário, os que utilizam a técnica da anotação

procuram destacar e incorporar ao usuário informações adicionais a respeito da situação atual destes nós, acrescentando, também, melhor visibilidade à navegação. O sistema Hypadapter utiliza três diferentes tamanhos de fonte graduando a relevância dos nodos para os objetivos dos usuários em três categorias: muito relevantes, relevantes e menos relevantes. Outro método é refletir os diferentes níveis de conhecimento do usuário em relação aos nodos. Existem mais dois métodos baseados na anotação e que utilizam a ocultação. O primeiro consiste em sublinhar os links diretamente relacionados ao objetivo corrente, como no sistema ISIS Tutor. Mostrar uma anotação de maneira especial dos links que o usuário não esteja pronto para aprender, como nos sistemas ISIS Tutor e ELM-ART é o outro método.

A *Orientação Global (OG)* procura auxiliar o usuário no entendimento da estrutura do ambiente de navegação do sistema como um todo. Sistemas não-adaptativos utilizam marcos visuais e mapas globais para posicionar o usuário dentro do contexto global. Sistemas adaptativos têm condições de disponibilizar, através de técnicas de ocultação e anotação, melhor suporte de orientação ao usuário, de maneira sistemática e contemplando o modelo do usuário, qualquer que seja a sua posição no hiperespaço.

Na OG, pode-se utilizar o aumento gradual da quantidade de *links* visíveis conforme aumenta a experiência do usuário, como nos sistemas HyperTutor e Hynecosum. O sistema BASAR emprega agentes inteligentes para buscar e manter os *links* mais relevantes a cada usuário. Tais agentes pesquisam regularmente na *web* por expirações e atualizações e por novos *links* relevantes ao usuário. Gerenciar, dessa maneira, visões personalizadas na Internet, tem sido um dos objetivos mais recentes da HA.

Os métodos acima apresentados servem como auxílio ao usuário no ambiente adaptativo e necessitam o uso de técnicas de adaptação para implementá-los. Algumas destas técnicas já foram citadas e podem ser usadas separadamente ou em conjunto. Serão apresentadas as técnicas de Orientação Direta (OD), Classificação Adaptativa (CA), Ocultação, Anotação Adaptativa (AA) e de Mapas Adaptativos (MA), conforme descrito em Palazzo (2000).

A *Orientação Direta* (OD) decide, em cada ponto, qual o próximo nodo é o melhor a ser visitado, pelas características observadas no modelo do usuário como preferências, conhecimento, objetivos e outras. É considerada a técnica mais simples de navegação adaptativa, sendo fácil e clara de implementar, podendo ser usada para todas as classes de *links* apresentadas na seção 2.3.3. O sistema WebWatcher, para OD, destaca visualmente o melhor *link* para o próximo nodo, enquanto que o sistema ISIS Tutor apresenta um link dinâmico, denominado "next", conectado ao nodo selecionado considerado melhor.

A orientação direta não deve ser utilizada sozinha, pois possui a limitação de não apoiar os usuários que queiram seguir seu próprio caminho e não seguir o caminho sugerido pelo sistema.

Na *Classificação Adaptativa* (CA), todos os *links* são classificados e apresentados em ordem decrescente de relevância, a partir dos parâmetros apurados no modelo do usuário. Brusilovsky (1996) coloca que a CA possui limitações, como aplicação, devido à dificuldade de usá-la com índices e tabelas de conteúdo e a impossibilidade de seu uso para ligações contextuais e mapas, que possuem organização e estrutura próprias. Entretanto, segundo o mesmo autor, a CA pode ser usada em *links* não-contextuais, satisfatoriamente. Palazzo (2000) destaca, ainda, a utilidade da CA para recuperação de informações. A CA, ainda, pode ser utilizada em aplicações de documentação on-line e hipermídia educacional, segundo Brusilovsky (1996).

A técnica mais utilizada em navegação adaptativa é a da *ocultação*, talvez por sua facilidade de implantação ou por sua obviedade como técnica de adaptação. Sob a justificativa de resguardar o usuário de uma sobrecarga cognitiva e das armadilhas de um hiperespaço muito amplo e complexo, ocultar informações coloca-se como uma técnica adequada.

Através desta técnica, são ocultas as ligações para nós pouco ou não-relevantes, restringindo o espaço de navegação. Esta não-relevância deve levar em consideração fatores como o conhecimento insuficiente do usuário a respeito do assunto ou o seu objetivo atual não necessitar tal informação.

A ocultação é mais facilmente reconhecida e assimilada pelo usuário, além de se apresentar de maneira mais estável que a classificação adaptativa. Possui, também, um universo mais amplo de aplicação, tornando não-visíveis ou desabilitando ligações em áreas não-relevantes aos objetivos do usuário, em índices, mapas e *links* não-contextuais. Já em *links* contextuais, deixar o texto comum e as palavras utilizadas para *links* iguais, sem nenhum destaque.

A ocultação de *links*, segundo Calvi (1998), pode ser classificada em *Ocultação Pura de Links*, quando o *link* fica invisível ao usuário, mas não desabilitado. Quem conhecer a posição do *link* oculto pode utilizá-lo; *Remoção de Links*, quando ele é realmente removido, deixa de existir; e *Desabilitação de Links*, que torna o *link* não-funcional, mesmo que visível. A reabilitação da ligação pode ser feita a qualquer tempo.

Na *Anotação Adaptativa* (AA), são incorporados algum tipo de comentário ou qualquer anotação que incremente a informação contida nos *links*, sob a forma de texto, destaques, imagens ou qualquer efeito que possa atrair para si a atenção do usuário. Nos sistemas convencionais de hipermídia, a anotação apresentada é estática, enquanto que nos sistemas adaptativos, espera-se por anotações dinâmicas adaptadas ao modelo de usuário.

A AA é uma técnica mais poderosa que a ocultação, já que pode definir vários níveis de relevância, enquanto a ocultação tem apenas dois níveis, mostrando as ligações relevantes e escondendo as não-relevantes. Obscurecendo as ligações, pode simular, também, uma ocultação, além de poder diminuir, de certa forma, a sobrecarga cognitiva, desde que o usuário aprenda a ignorar os *links* obscuros, mas mantendo-os visíveis e operacionais. A anotação mantém uma estabilidade na ordenação das ligações e pode ser usada nos quatro tipos de *links* citados em seção anterior.

Com os Mapas Adaptativos (MA), o usuário tem à disposição diversos tipos de mapas de hipermídia global e local. Na adaptação de mapas podem ser usadas técnicas de ocultação, anotação e orientação direta, como foi visto anteriormente, mas que não modificam nem forma nem estrutura dos mapas. Mapas de hipermídia são representações gráficas semelhantes aos

geográficos, onde o usuário se posiciona ou localiza algum assunto ou caminho.

As técnicas citadas acima são consideradas primárias, mas não excludentes ou contraditórias, portanto podem ser usadas em conjunto. O sistema ISIS Tutor, por exemplo, usa as técnicas de orientação direta, ocultação e anotação, e o Hypadapter utiliza classificação, ocultação e anotação. A orientação direta é usada, facilmente, em combinação com qualquer uma das outras técnicas. O quadro abaixo (Tabela 1), extraído de Palazzo (2000), demonstra as diversas combinações de técnicas e sistemas utilizados para implementar um método de navegação adaptativa.

Técnicas Métodos	Orientação Direta	Classificação	Ocultação	Anotação	Mapas Adaptativos
Condução Global	WebWatcher ITEM/IP HYPERFLEX	HyperMan HYPERFLEX			
Condução Local	HyperTutor	HyperMan Hypadapter HYPERFLEX	Hypadapter PUSH	ISIS-Tutor ELM-ART	Hypercase
Orientação Local - Conhecimento		Hypadapter	HyperTutor Hypadapter	ISIS-Tutor ELM-ART ITEM/PG	
Orientação Local – Objetivos			Hynecosum HyPLAN	ISIS-Tutor ELM-ART ITEM/PG	Hypercase
Orientação Global			Hynecosum HyperTutor ISIS-Tutor	ISIS-Tutor ELM-ART ITEM/PG	Hypercase

**Tabela 1 – Métodos e Técnicas de Navegação Adaptativa em Sistemas de HA (Palazzo, 2000)**

Existem várias possibilidades de combinação entre técnicas e métodos de navegação adaptativa. Quando se quer mostrar o caminho ideal para a solução de um problema específico, por exemplo, pode-se usar o método da condução global, exibindo ao usuário o melhor caminho combinado às técnicas de ocultação, para desativar opções fora do contexto da solução e da



orientação direta, indicando passo a passo como navegar pelo caminho. É possível, ainda, na mesma solução apresentar mapas adaptados ao melhor caminho deste usuário específico, ou dos usuários em geral. Também há a possibilidade de mostrar, de maneira classificada, outras opções de solução do problema através de uma lista de ligações em que a solução considerada melhor apareça em primeiro lugar.

O exemplo acima é somente uma idéia do que se pode compor entre métodos e técnicas para solução de um problema simples. O número de soluções e combinações possíveis tende a ser bem vasto, principalmente se for preciso resolver problemas mais complexos.

## **2.7 Adaptação Proativa**

Palazzo (2000) define *adaptação proativa* qualquer maneira ou esquema de adaptar ambientes que consiga antecipar as variações e as situações futuras do modelo, introduzindo-as, se necessário, aos usuários. Aplicando técnicas proativas de adaptação, pode-se conseguir atingir uma aceleração da convergência do que é modelado para trazer resultados que seriam mais demorados de outra forma (Bollen, 1996). A noção de fecho pode ser aplicada na produção de inferência de redes, quando consideradas como sistemas complexos.

### **2.7.1 O Fecho e o Processo de Adaptação**

Um sistema considerado fechado não pode interagir com o ambiente, nem com usuários, nem com outros sistemas, além de não possuir qualquer mecanismo de entrada ou saída. Na prática, isto não pode ser aplicado. Sempre haverá interação de sistemas com outros sistemas ou com usuários, mesmo que seja apenas para visualizar seus resultados. Mesmo assim, pode representar situações ou estados muito demorados em que o sistema está praticamente estático em relação à troca de informações, ou seja, não se relaciona por muito tempo com o ambiente externo, simplificando descrições, pela maneira singela como é definido.

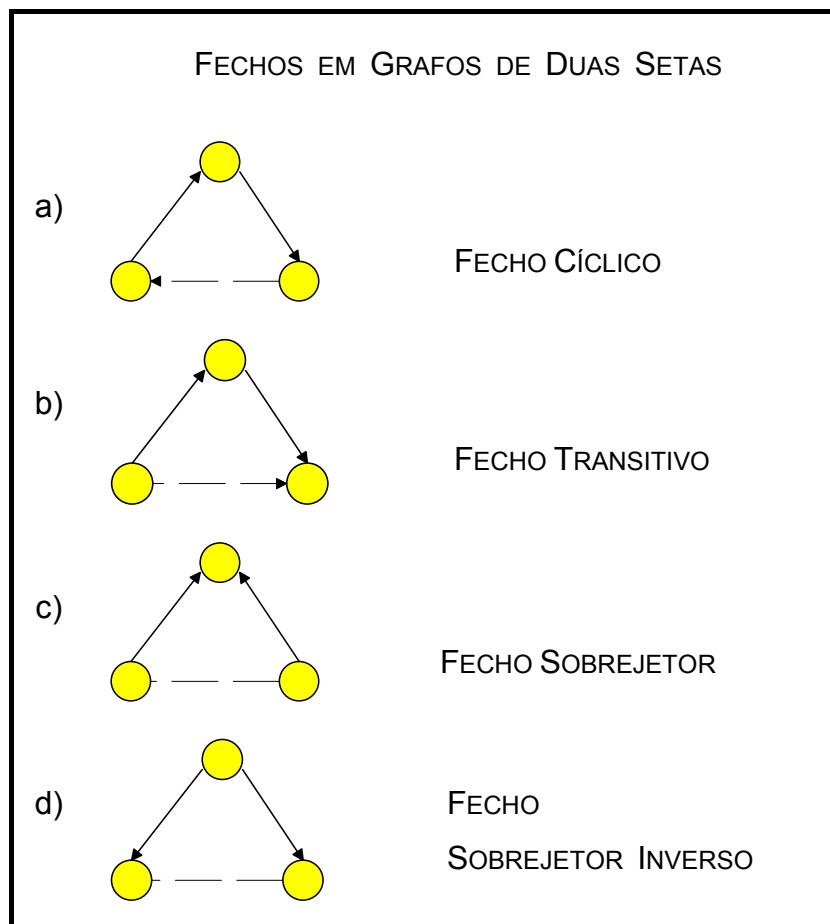


Figura 4 – Tipos de fechos em grafos de duas setas (Palazzo, 2000)

Na figura 4, os diagramas (a) e (b) representam duas setas conectadas *seqüencialmente*, chegando e partindo, em relação ao nodo comum. A seta pontilhada, adicionada para formar o fecho, pode ser orientada de duas maneiras: na seqüência das duas setas originais, conduzindo de volta ao nodo inicial (fecho cíclico), ou em paralelo à (fecho transitivo). Nos diagramas (c) e (d) as duas setas originais são conectadas em paralelo. Como o sistema formado nestes dois casos apresenta uma simetria geral, a conexão adicionada para formar o fecho não é orientada. A simetria da conexão original pode ser orientada como uma relação de equivalência, conduzindo a identificação dos dois nodos conectados, de forma que eles não são mais distinguidos individualmente, mas somente em conjunto. O resultado é que também as setas originais não são mais distinguidas. As relações correspondem,

respectivamente, ao fecho sobrejetor (n-1) e ao fecho sobrejetor inverso (1-n) (Palazzo, 2000).

A noção de fecho demonstra a necessidade de observar alguns passos anteriores, toda vez que for preciso prever a navegação do usuário. Na maioria das vezes, a tendência é de ele avançar no ambiente em uma só direção, mas em alguns casos, principalmente em ambientes educativos, ele procura informações de referência em locais que já visitou e, por várias vezes, repete o ato de avançar e retornar (referenciar). Esta ação torna a previsão pouco eficiente, se levar em conta apenas o último passo dado, portanto uma análise de alguns passos anteriores deve ser considerada.

## **2.8 Conclusão do Capítulo**

A noção de navegação em fecho cria uma dificuldade na tentativa de previsão dos passos de navegação do usuário. Como ele pode navegar por alguns nodos, voltar a um anterior e continuar navegando, passando pelo mesmo ponto várias vezes, não se pode utilizar apenas o passo anterior como informação suficiente de previsão.

Os métodos e técnicas de navegação adaptativa, também constituem informação importante, pois limitam a quantidade de ferramentas que podem satisfazê-los.

### 3. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Redes Neurais Artificiais são sistemas computacionais, de implementação em hardware ou software, que **imitam** as habilidades computacionais do sistema nervoso biológico, usando um grande número de simples neurônios artificiais interconectados (Tafner et al., 1996).

Diversas tarefas que a mente humana executa com facilidade e rapidez, como reconhecer cores, rostos, compreender e traduzir línguas e associação de idéias são praticamente impossíveis de transformar em algoritmos - isto é, serem reduzidas a uma seqüência de passos lógicos e aritméticos. Nestas tarefas, as redes neurais podem ser aplicadas.

As RNAs constituem sistemas paralelos distribuídos formados por nodos, que são unidades de processamento, distribuídas em camadas interligadas por conexões de única direção, que calculam funções matemáticas não-lineares (Braga, Carvalho e Ludermir, 2000). As conexões utilizam pesos para representar as informações obtidas e passadas por elas. Estes pesos são estímulos que podem sobrepor ou ativar unidades ou neurônios. Podem ser estímulos positivos ou negativos. A rede neural artificial é baseada na estrutura física natural do cérebro humano.

A conexão entre um axônio de um neurônio e um dendrito de outro é denominada sinapse (Tafner et al., 1996). A sinapse é a unidade funcional básica para a construção de circuitos neurais biológicos.

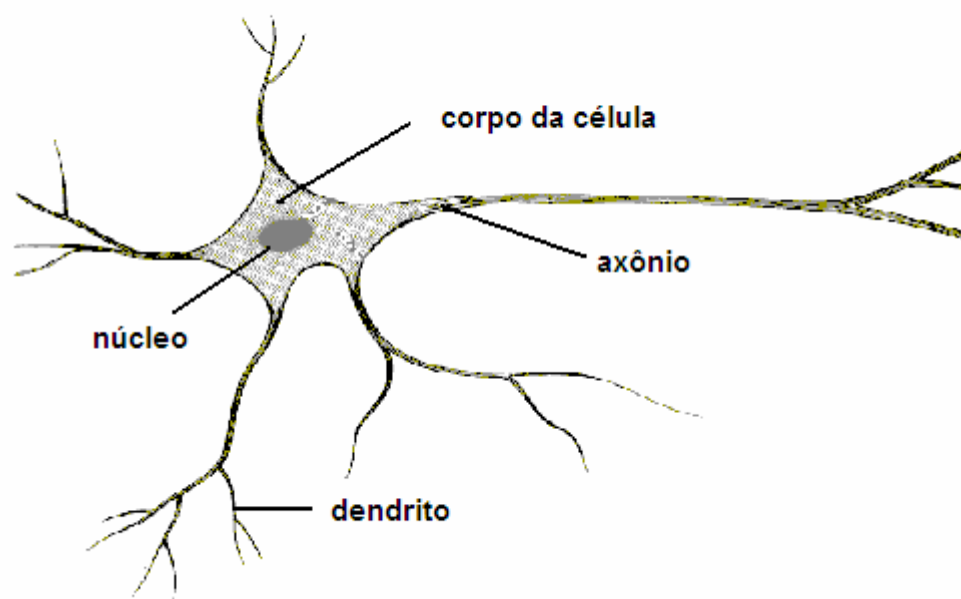


Figura 5 – O neurônio biológico

Sistemas especialistas trabalham com regras explícitas e laços de execução bem definidos. Procuram solucionar problemas propostos da maneira mais eficiente possível e continuam os resolvendo da mesma maneira. As redes neurais procuram aprender e evoluir a partir de exemplos, a partir de critérios implícitos e mais complexos.

As redes neurais artificiais têm sido usadas com grande eficiência para sistemas que precisam **aprender** com usuários e **adaptar-se** a eles, pois ao contrário de programas computacionais comuns, que executam apenas comandos, de uma maneira ordinária e fixa, as RNAs possuem flexibilidade, sofrem modificações enquanto evoluem e aprendem, lendo exemplos recebidos de um problema qualquer e criando um modelo para sua solução.

McCulloch e Pitts (1943) propõem um modelo de neurônio artificial, conhecido por MCP, que é uma simplificação do que se conhecia, na época, do neurônio biológico, através de uma descrição matemática com  $n$  terminais de entrada ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ), representando os *dendritos* e somente um terminal de saída  $y$ , representando o *axônio*. Os terminais de entrada têm pesos acoplados ( $W_1, W_2, \dots, W_n$ ), representando o comportamento das *sinapses*. Estas

podem ser *inibitórias* ou *excitatórias*, através de pesos positivos ou negativos. Os pesos determinam qual o "grau" de excitação dos sinais deve ser considerado para que uma conexão ocorra.

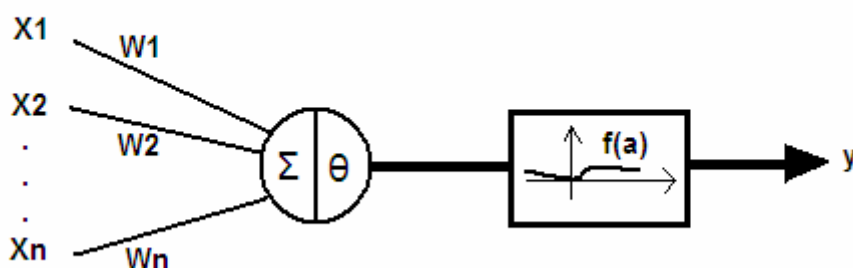


Figura 6 – Modelo Neural Artificial adaptado de Haykin (2001)

O sinal  $\Sigma$  é ativação do neurônio,  $\theta$  é o seu limiar (*threshold*) dado por uma função de transferência,  $n$  é o número de entradas,  $W$  é o peso associado a cada entrada  $X$ ,  $y$  representa as saídas e  $f(a)$  é a função de ativação de cada camada (entrada, saída).

McCulloch e Pitts (1943) consideram que os nodos em cada camada disparam de maneira síncrona, ou seja, todos são avaliados ao mesmo tempo. Na rede biológica não há qualquer mecanismo para sincronizar ações, sem restrição para que as saídas sejam ativadas em tempos discretos, como no modelo MCP.

Além disto, os sistemas biológicos humanos possuem cerca de  $10^{11}$  neurônios, com cada um destes comunicando-se com milhares de outros em paralelo e continuamente. Estas complexas conexões são responsáveis por emoção, pensamento, percepção, memória e aprendizado. Também interpretam observações, reconhecem padrões e os relacionam. Apesar de toda esta complexidade, o cérebro humano processa todas estas informações quase que instantaneamente.

As RNA (redes neurais artificiais) têm sua fisiologia baseada no sistema biológico, mas não conseguem atingir tal complexidade, nem realizar tantas funções. Também tendem a cumprir suas funções em um tempo muito mais alto. Podem levar várias horas para resolver problemas de complexidade média com "apenas" poucas centenas de neurônios envolvidos, mesmo utilizando computadores de grande capacidade.

A maior limitação do modelo de neurônio de McCulloch e Pitts é sua natureza binária, baseada na compreensão de resposta presente ou ausente. As redes neurais, no início, tiveram pouco sucesso devido a isto.

### **3.1 Breve Histórico das RNA**

Este apanhado é um resumo das de informações coletadas de Braga, Carvalho e Ludermir (2000), Haykin (2001) e Tatibana & Kaetsu (1998):

- 1943: McCULLOUGH e PITTS estabeleceram as bases da neurocomputação, através de modelos matemáticos, como o MCP.

- 1949: HEBB traduziu matematicamente a sinapse dos neurônios biológicos.

- 1951: MINSKI constrói o Snark, primeiro neurocomputador com capacidade de aprendizado, ajustando os pesos entre as sinapses, mas sem executar qualquer outra função aparentemente útil para a época.

- 1956: No "Darthmouth College", nasceram os dois paradigmas da Inteligência Artificial, o simbolismo e o conexionismo.

- 1957: ROSENBLATT concebeu o "perceptron", rede neural de duas camadas, para o reconhecimento de caracteres.

- 1962: WIDROW desenvolveu um processador para redes neurais e fundou a primeira empresa de circuitos neurais digitais, a Memistor Corporation.

- 1967: Há um descrédito no que é publicado sobre redes neurais.

- 1974: WERBOS lançou bases para o algoritmo de retropropagação (backpropagation), que revitalizou a utilização das redes neurais.

- 1982: HOPFIELD realiza pesquisa baseada no sistema neural de uma lesma, criando uma RNA com memória nas conexões entre os neurônios.

- 1986: Elman e Jordan definem redes recorrentes e com memória.
- 1994: Primeiro congresso de RNA no Brasil.

### **3.2 Treinamento de RNA**

Redes neurais possuem a capacidade de aprender por exemplos e a partir de seu ambiente e de melhorar o seu desempenho a partir desta aprendizagem. Através de um conjunto de procedimentos chamado de algoritmo de aprendizado, uma RNA aprende uma determinada função. Através do tempo e, após cada repetição do processo de aprendizagem, a RNA vai ficando mais instruída sobre seu ambiente.

*Aprendizagem é um processo pelo qual os parâmetros livres de uma rede neural são adaptados através de um processo de estimulação pelo ambiente no qual a rede está inserida. O tipo de aprendizagem é determinado pela maneira pela qual a modificação dos parâmetros ocorre. (Mendel & McClaren apud Haykin, 2001).*

*Aprendizagem é o processo pelo qual os parâmetros de uma rede neural são ajustados através de uma forma continuada de estímulo pelo ambiente no qual a rede está operando, sendo o tipo específico de aprendizagem realizada definido pela maneira particular como ocorrem os ajustes realizados nos parâmetros. (idem).*

#### **3.2.1 Treinamento Supervisionado**

Esta maneira é a mais utilizada no aprendizado das redes neurais. Para cada entrada ou conjunto de informações é apresentada uma saída desejada. Para que os resultados esperados sejam atingidos, os pesos ou os parâmetros da rede são ajustados.

Este método apresenta como desvantagem a dependência de um bom professor (supervisor), ou de um modelo adequado de saídas que represente, da melhor maneira possível, as metas ou alvos a ser alcançados.

Um erro médio ainda deve ser calculado e definido um valor mínimo para o mesmo, para aproximar, ao máximo, os resultados (saídas) obtidos do que é desejado.



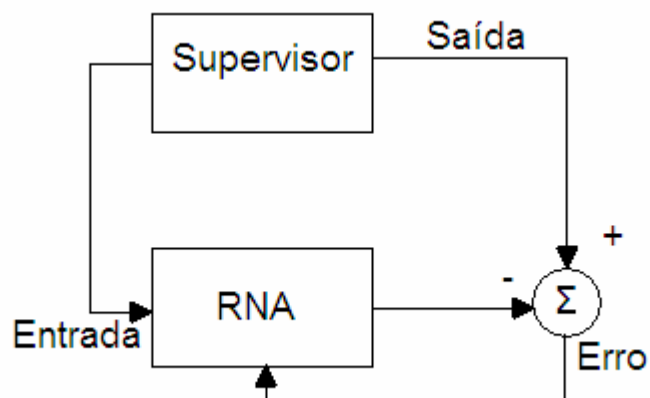


Figura 7 – Esquema representativo do treinamento supervisionado

### 3.2.2 Treinamento Não-supervisionado

Concebido por Kohonen, em 1984, devido a críticas ao método supervisionado (Wazlawick, 1993), este tipo de aprendizado também é conhecido como treinamento auto-supervisionado. Esse aprendizado não requer saídas desejadas ou pré-definidas. Para o treinamento da rede, são usados apenas os valores de entrada. A rede trabalha essas entradas e se organiza de modo que acabe classificando-as, usando para isso, os seus próprios critérios.

O aprendizado não-supervisionado é o que mais representa as idéias originais das redes neurais, pois não se baseia em regras pré-definidas e aproveita diretamente os resultados obtidos e reconhecidos pela rede.

Este método não contempla, com tanta eficiência, o reconhecimento de padrões nem a proposição de atingir metas ou realizar previsões por sua própria natureza.

### 3.2.3 Treinamento por Épocas

Muito utilizado em redes recorrentes (Braga, Carvalho & Ludermir, 2000), a cada época definida, um treinamento supervisionado é disparado. O conjunto de dados de entrada, juntamente com o de saída (alvo) é apresentado à rede, que é treinada repetidas vezes, até que o alvo seja alcançado ou o erro médio seja minimizado. O resultado é testado pela massa de dados de teste ou simulação. Toda nova informação testada utiliza a rede neural com os pesos atualizados, baseados na última época de treinamento. Com o passar do

tempo, os resultados de novos testes podem se distanciar muito do esperado, sendo então incorporados todos os testes ao treinamento, criando-se, assim, uma nova época.

A maior desvantagem deste treinamento é a de não possuir, em determinado tempo, a capacidade de resolver problemas ou reconhecer padrões da realidade atualizada.

### **3.2.4 Treinamento Contínuo**

Esta aprendizagem é recomendada em situações em que atualizações constantes de estados ou padrões sejam necessárias. Também é útil em casos em que o reinício constante da rede seja necessário.

Neste treinamento, as informações da última aplicação da rede são reapresentadas ao treinamento, juntamente ao conjunto anterior aplicado. Esta operação se repete sempre, toda vez que um novo dado é apresentado à rede.

A principal dificuldade deste método é operacional, pois o processo de treinamento é repetido constantemente e, na maioria das vezes, é muito demorado.

### **3.2.5 O Algoritmo *Backpropagation***

Após um certo esquecimento das redes neurais, desde o final da década de 60, surge, em 1974, o algoritmo *backpropagation* (Werbos apud Braga, Carvalho e Ludermir, 2000) reacende o interesse pelas RNAs. Do *backpropagation* derivam vários outros treinamentos de RNA. É um algoritmo de treinamento supervisionado que ajusta os pesos da rede através de um mecanismo de correção de erros. Ocorre em duas fases de sentidos opostos, uma chamada *forward*, onde é definida uma saída padrão para as entradas, e uma *backward*, que utiliza as saídas padronizadas para atualizar os pesos das conexões.

Um dos problemas apresentados por este algoritmo é a morosidade na sua execução. Para solucioná-lo, pode ser usada a cláusula *momentum* (Rummelart apud Braga, Carvalho e Ludermir, 2000), uma técnica que acelera o aprendizado e reduz o perigo de instabilidade. Outra variação utilizada é a

conhecida por Levenberg-Marquadt (AOS, 1999), que utiliza uma aproximação pelo método de Newton.

### 3.3 Neurônios e Camadas

Como mencionado anteriormente, as RNA utilizam neurônios (nodos), como nas redes biológicas, que têm funções de entrada e saída de estímulos (sinais), que ativam novos neurônios ou apresentam resultados.

Com o surgimento de novas topologias de rede, para satisfazer diferenciadas soluções, os neurônios passaram a ser distribuídos em novas camadas, formando diversas conotações. As principais são:

- Camada de entrada: onde os neurônios recebem as informações externas, geralmente inicializadas de acordo com o tipo de rede;
- Camada oculta: possui quantidade variável de neurônios e é onde os pesos são ajustados. Não possui comunicação com ambiente externo e suas operações internas nem sempre são conhecidas.
- Camada de saída: onde os resultados da rede são apresentados. Também são comparados com os alvos no treinamento supervisionado.
- Camada de contexto: também conhecida como camada de recorrência, abriga as unidades de contexto e é utilizada nas redes recorrentes, replica alguma das camadas anteriores, como a saída, por exemplo. Não possui comunicação com o ambiente externo.

### 3.4 Redes Neurais Recorrentes

Redes recorrentes são aquelas que possuem conexões de realimentação, proporcionando comportamento dinâmico. Há muitas variações de arquiteturas de redes recorrentes; algumas permitem o uso de algoritmos mais simples ou adaptados a uma tarefa específica. Outras trabalham com memória própria e com camadas internas que vão se acumulando com o tempo.

As redes recorrentes podem possuir vários laços de alimentação. A realimentação pode ser *global* ou *local*. A aplicação de realimentação global pode assumir uma variedade de formas. Pode haver realimentação tanto da

camada oculta para o contexto ou entrada, como dos neurônios de saída para o contexto ou entrada. Os maiores usos para este tipo de rede são *memórias associativas* e *redes para mapeamento de entrada-saída*.

### 3.4.1 Redes de Elman e de Jordan

As figuras 8 e 9 são baseadas em Braga, Carvalho e Ludermir (2001) e representam, respectivamente, os esquemas de redes de Elman e Jordan. Ambas possuem uma camada de entradas (Ent) com suas unidades de entrada (E1, E2, ..., En), uma camada oculta ou escondida (CEs), uma camada de contexto ou de recorrência (CC) com suas unidades de contexto (UC1, UC2, ..., UCn) e uma camada de saídas (CS) com suas unidades de saída (S1, S2, ..., Sn).

Elman (1990) criou um modelo de redes neurais com memória. Nestas redes, além das camadas de entrada, oculta e de saída, há também uma camada de unidades de contexto, como nas redes recorrentes em geral.

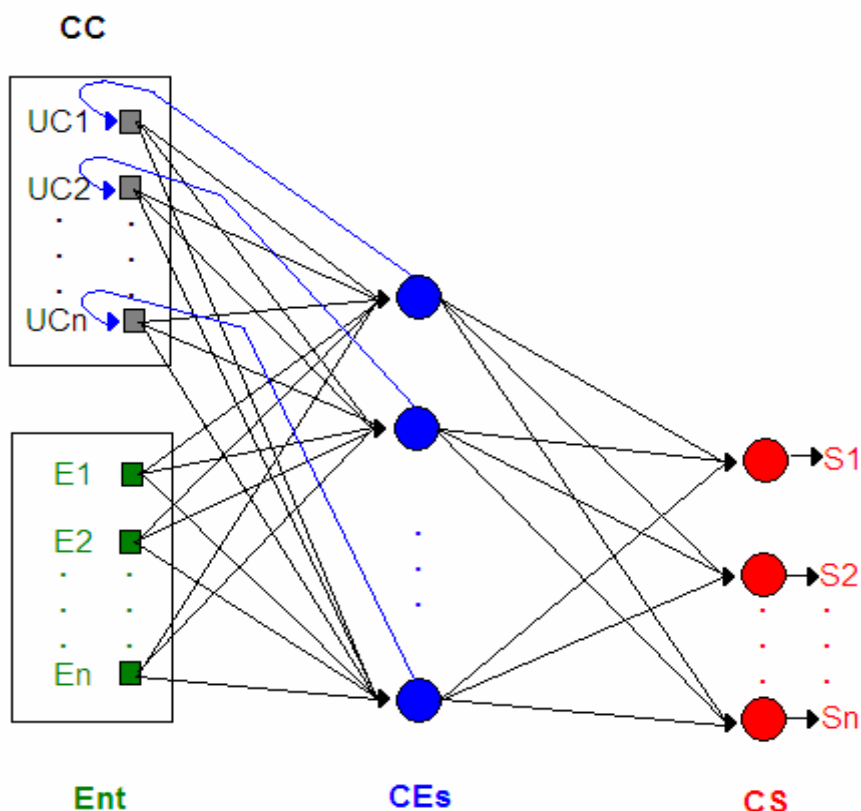


Figura 8 – Esquema geral de uma rede de Elman

As redes de Elman são chamadas de parcialmente recorrentes, pois a recorrência se dá da camada oculta para a camada de contexto e as conexões recorrentes são fixas. Nestas redes, as unidades de entrada são apenas armazenadoras, recebem os sinais sem modificá-los. Estes são repassados à camada oculta, que os replica na camada de contexto, como representantes do retardo de um passo da camada escondida.

Na rede de Jordan (1986), a saída da rede é copiada para a camada de contexto. Além disso, as unidades de contexto são auto-associativas ou recorrem de modo local. A grande diferença entre redes de Elman e Jordan é que a recorrência em Elman é feita da camada escondida ou oculta para as entradas, enquanto que em Jordan é feita das saídas para as entradas.

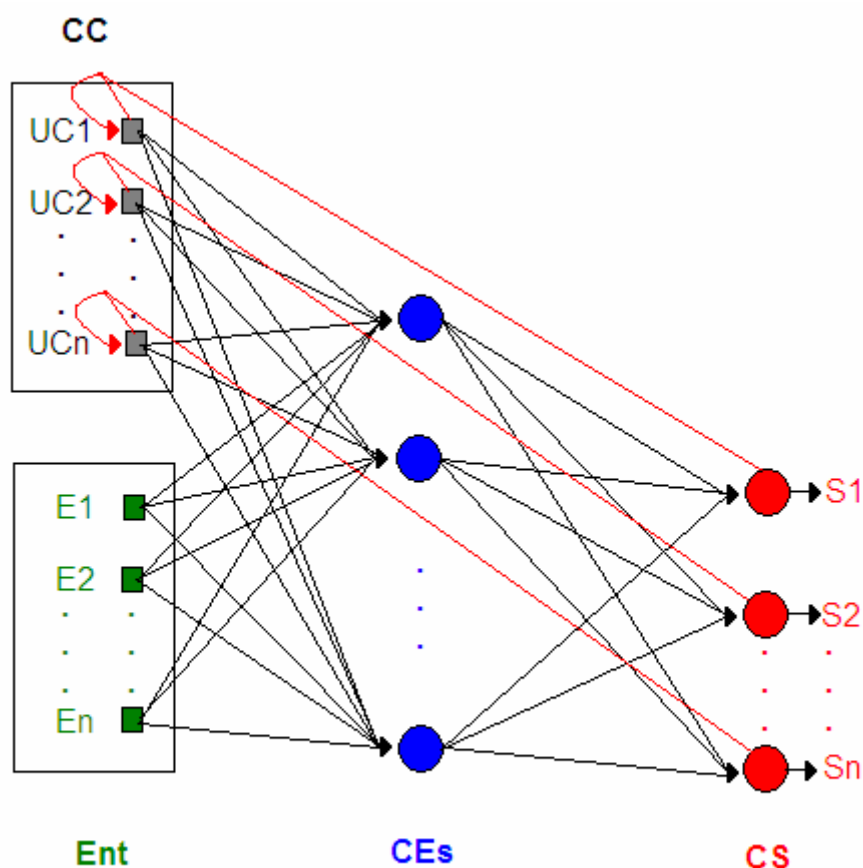


Figura 9 – Esquema geral de uma rede de Jordan

Como a camada de contexto representa uma repetição das entradas, a recorrência da rede de Jordan repete no contexto, os passos anteriores da entrada e os reapresenta, de forma dinâmica, à camada oculta. Dessa maneira, a rede representa os sinais apresentados da situação atual, mas os combina com sinais anteriores, tantos quantos forem os neurônios distribuídos na camada de contexto.

### **3.5 Conclusão do Capítulo**

A utilização de redes recorrentes na previsão da navegação adaptativa possibilita o reconhecimento de vários passos anteriores do usuário no ambiente de navegação, contemplando solução ao problema de fecho, citado no capítulo anterior.

## **4. MODELO PARA PREVISÃO DE NAVEGAÇÃO ADAPTATIVA USANDO REDES DE JORDAN**

Neste capítulo é apresentado o sistema construído para navegação adaptativa através de menu dinâmico dependente dos resultados da rede de Jordan.

### **4.1 O Sistema Adaptativo Construído**

O Sistema de Hipermídia Adaptativa com Redes Neurais Artificiais (SHARNA) foi concebido para o recolhimento das informações de navegação necessárias para alimentar as entradas da rede neural com os diversos fatores úteis ao treinamento. Após este treinamento, o sistema é novamente acionado para apresentar o menu de navegação readaptado aos usuários.

O sistema foi concebido em linguagem PHP com HTML (Greenspan & Bulger, 2001) e algumas funções em JavaScript (Deitel & Deitel, 2001). Utilizou banco de dados MySQL (Greenspan & Bulger, 2001), para armazenamento das informações. O conjunto programa/banco de dados ficou armazenado na máquina Avatar<sup>9</sup> do LSC/UFSC e foi disponibilizado, via Internet, nos seguintes endereços:

<http://wwwexe.lsc.ufsc.br/mysql/phpMyAdmin-prevadap> - Banco de Dados;

<http://wwwexe.lsc.ufsc.br/~schmitz/siteha2/entrada1.php> - Programa utilizado para a coleta de informações;

<http://wwwexe.lsc.ufsc.br/~schmitz/sharna> - Programa adaptativo definitivo.

### **4.2 Fatores de Agilização do Processo de Adaptação**

Com o intuito de alimentar a rede neural recorrente com informações que diferenciem o aprendizado, o sistema criado recolheu das navegações realizadas pelos usuários, a posição atual ocupada por ele no ambiente de

---

<sup>9</sup> Avatar é uma máquina servidora localizada no LSC/PPGEP/CTC/UFSC, utilizada para hospedar trabalhos e páginas da Internet de projetos vinculados ao LSC/PPGEP.

navegação com o devido tempo de permanência no nodo atual e, a partir desta, seu próximo passo e os dois passos anteriores. O sistema também percebe qual a seqüência deste passo dentro de sua navegação atual.

- a) *Posição Atual* – a idéia historicamente concebida de que um passo dado dentro do ambiente de navegação segue um padrão definido pela experiência observada em navegações anteriores, determinada a importância desta informação como preponderante para a previsão do próximo passo a ser dado;
- b) *Próximo Passo* – informação necessária para o treinamento da rede neural, considerando-se que a combinação entre este fator e o anterior identificam a movimentação do usuário no ambiente;
- c) *Os Dois Passos Anteriores* – muitas vezes, a movimentação do usuário é representada por um fecho transitivo, ou seja, ele se movimenta de uma posição a outra, retorna à mesma e desta, pode partir para outra diferente, então o par representado pela posição atual e próximo passo não é um representante significativo da movimentação do usuário, assim se lança mão de outros passos que marcam com mais intensidade a navegação;
- d) *Seqüência na Navegação* – o momento em que um passo é dado pode ter importância determinante na ordem da navegação. Se o passo foi dado no início, o destino pode ser um, se no final, pode ser outro;
- e) *Tempo de Permanência* – este fator é de importância adicional para uma definição de navegação. Dependendo da natureza da consulta, bem como da extensão textual, ou de outra variável estranha ou fora do controle do sistema, o tempo adquire um caráter de significação reduzida, na fixação ou não da atenção em um determinado local.



### 4.3 Programa Básico para a Coleta de Informações de Navegação

Uma versão inicial de uma apostila<sup>10</sup> de treinamento para o uso do Windows 98<sup>11</sup>, com um *menu* de opções representando um índice de capítulos ou páginas da referida apostila na ordem original pela qual foi concebida, foi utilizada por usuários de computadores do HUSM (Hospital Universitário de Santa Maria), servidores e bolsistas do CPD/UFSC, alunos de graduação e pós-graduação do CTC/UFSC, usuários do LSC/UFSC e convidados com experiência variada, da região de Santa Maria, RS e da grande Florianópolis, SC. As informações colhidas pela navegação deles no programa (apostila), bem como suas informações cadastrais foram gravadas em um banco de dados hospedado no LSC/UFSC, máquina Avatar.

O sistema desenvolvido possui uma tela inicial (figura 13), onde o usuário acessa o sistema. Caso não seja cadastrado, utiliza formulário específico, na tela seguinte (figura 14), informando *login*, senha, nome, sexo, data de nascimento, grau de instrução, experiência em informática, ocupação principal, instituição, e-mail, cidade e estado da federação onde se encontra atualmente. Confirmando os dados cadastrais, o usuário escolhe uma das opções de navegação abaixo:

- a) Navegação livre (figura 10);
- b) Resolução do trabalho N° 1 (figura 11);
- c) Resolução do trabalho N° 2 (figura 12).

Os trabalhos são apresentados através de um menu "pop-up", no momento em que for apresentada a página inicial da apostila.

---

<sup>10</sup> Apostila adaptada de Marcelo Seabra (1999), com o direito de uso cedido ao autor.

<sup>11</sup> Marca registrada da *Microsoft Corporation*.

Siga os passos abaixo, para que os resultados da pesquisa sejam atingidos:

Desde já, agradeço sua colaboração.  
Luiz Alberto Schmitz – mestrando - PGCC/UFSC.

- 1) Navegue livremente na apostila do Windows 98, utilizando o menu à esquerda
- 2) Para sair da apostila, utilize a opção SAIR, no menu inferior esquerdo
- 3) Qualquer crítica, sugestão ou reclamação, remeta para: [las@inf.ufsc.br](mailto:las@inf.ufsc.br) .

Figura 10 – Tela de apresentação da navegação livre

\*\*\* Utilize, como apoio, a Apostila do Windows que está aberta.  
Navegue na apostila utilizando o menu à esquerda.  
Quando terminar o trabalho, remeta-o ao endereço indicado.  
Para sair da apostila, utilize a opção SAIR, no menu inferior esquerdo.

Siga os passos acima, para que os resultados da pesquisa sejam atingidos. \*\*\*

Desde já, agradeço sua colaboração.  
Luiz Alberto Schmitz – mestrando - PPGCC/UFSC.

TRABALHO 1:

- 1) Crie uma pasta chamada "trabalho1", no disco C
- 2) Crie um documento, na pasta acima, em um editor de textos que aceite figuras
- 3) Digite o texto:
 

O Windows 98 é um sistema operacional gráfico, que mostra janelas que facilitam sua utilização.  
É o sistema mais utilizado no mundo e traduzido para mais de 70 línguas diferentes.
- 4) Salve o documento na pasta criada, com o nome de "primeiro"
- 5) Calcule a raiz quadrada de 7 e copie o resultado no documento criado
- 6) Desenhe uma casa com telhado marrom e janela e porta verdes, com fumaça saindo pela chaminé e copie o desenho para o documento "primeiro"

Salve o documento "primeiro" e remeta-o, juntamente com a pasta "trabalho1", para o seguinte endereço eletrônico: [las@inf.ufsc.br](mailto:las@inf.ufsc.br) , com qualquer crítica, sugestão ou reclamação que julgar necessário.

Figura 11 – Tela de apresentação do trabalho No. 1

\*\*\* Utilize, como apoio, a Apostila do Windows que está aberta.

Navegue na apostila utilizando o menu à esquerda.

Quando terminar o trabalho, remeta-o ao endereço indicado.

Para sair da apostila, utilize a opção SAIR, no menu inferior esquerdo.

Siga os passos acima, para que os resultados da pesquisa sejam atingidos. \*\*\*

Desde já, agradeço sua colaboração.

Luiz Alberto Schmitz – mestrando - PPGCC/UFSC.

#### TRABALHO 2:

- 1) Crie uma pasta chamada "trabalho2", no disco C
- 2) Crie um documento com o seguinte texto (os caracteres especiais devem ser colocados corretamente):

Lei Extra Nº 1:

§ 1º: "Todos devem ser tratados igualmente e em paz".

- 3) Salve o documento, na pasta "trabalho2", com o nome "segundo"
- 4) Procure, na internet, um *site* que contenha o seu sobrenome
- 5) Retire um texto, uma figura ou um fragmento qualquer do *site* e copie-o para o documento "segundo"
- 6) Salve o documento "segundo" e remeta-o, juntamente com a pasta "trabalho2", para o seguinte endereço eletrônico: [las@inf.ufsc.br](mailto:las@inf.ufsc.br) , com qualquer crítica, sugestão ou reclamação que julgar necessário.

Figura 12 – Tela de apresentação do trabalho No. 2

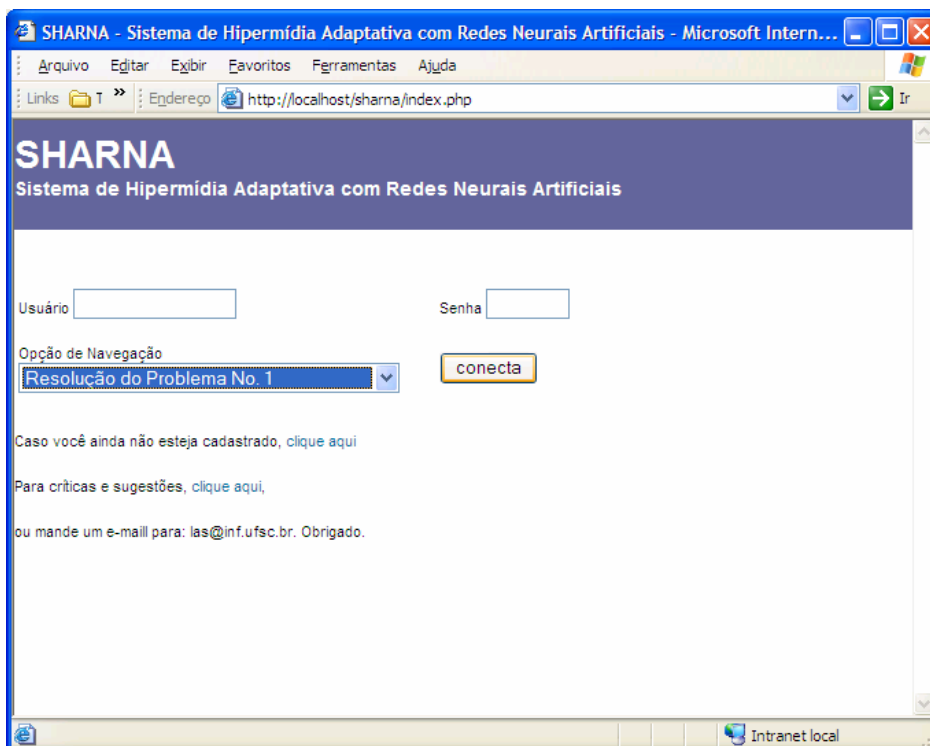


Figura 13 – Tela de entrada do sistema SHARNA

Figura 14 – Formulário para cadastro de usuário novo

Depois de escolhida uma das opções acima, é mostrada a tela da apostila (figura 15) por onde o usuário navega, utilizando como índice as opções do menu à esquerda, estudando e observando as informações contidas

na tela principal. Ao encerrar a pesquisa, em qualquer das opções, deve teclar o botão "SAIR". O programa, então, armazena as informações de navegação: usuário, opção, data, hora inicial, hora final e tempo de permanência em cada página.

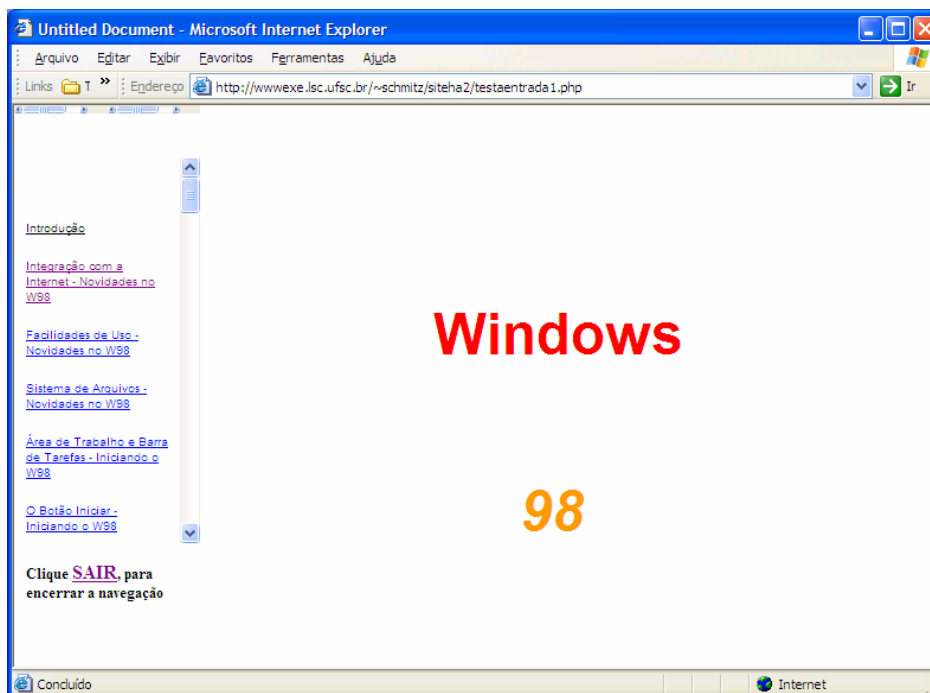


Figura 15 – tela inicial da apostila de coleta de informações

Os propósitos da organização de coleta tripla (opções de navegação a, b e c definidas anteriormente neste capítulo) foram estabelecidos para a organização de indícios e compreensão da estrutura das conjunturas de aprendizagem, considerando as informações que fornecem aqueles eventos ou aquelas experiências chamadas de **reforço**. Definindo aprendizagem, neste contexto, como (...) *a recepção de INFORMAÇÃO por um organismo, um computador ou qualquer outra entidade capaz de processar dados* (BATESON, 1991, p. 188).

Neste sentido, BATESON (1991) postula que (...) *qualquer seqüência de três eventos de intercâmbio humano pode ajustar-se à pauta triádica* (p. 199). Triáde esta calcada em pautas de investigação psicológicas: estímulo-resposta-reforço. Situação em que o usuário tenta descobrir os contornos entre

os fenômenos de aprendizagem, e a aprendizagem em si como um descobrimento advindo dos contornos de sua própria experiência.

A noção de **contexto** é o fulcro organizativo para o emprego metodológico das três opções de navegação. Considerando-se sobretudo, a evidência que BATESON (1991) aponta para a importância do significado e do sentido agregado a um contexto. Para o autor nenhuma mensagem, evento ou objeto possui classe, sentido ou significado fora de contexto. Os sinais (marcadores de contexto) são os grandes informantes sobre a uniformidade ou a troca, sobre a relação entre as diversas situações.

#### **4.4 Arquitetura da Rede Neural**

A primeira construção foi de uma rede de Jordan com dois neurônios na camada de entrada, representando a posição atual do usuário no ambiente de navegação, dezesseis neurônios na camada oculta e um neurônio na saída, representando o próximo passo. A rede foi treinada com o algoritmo *Backpropagation*, sem a opção *Momentum*. Os dados de entrada e saída foram normalizados para permanecer no intervalo entre -1 e 1, representando todas as navegações.

Uma segunda opção foi arquitetada, com os dados de entrada divididos em três grupos diferentes, representados pela opção de navegação.

Logo após, foi construída uma rede semelhante, incorporando informações, como o passo atual em cada navegação e o tempo de permanência em cada página consultada.

Foram criadas, ainda, uma rede Elman com configurações semelhantes às acima e redes *Feedforward* com um, dois e três neurônios na camada de entrada, representando o passo atual e os passos anteriores.

Os treinamentos foram realizados por épocas, até que o erro médio fosse estabilizado, mas uma opção de treinamento contínuo também foi simulada, re-treinando a rede a cada passo de navegação.

#### 4.5 O Treinamento da Rede Neural

A partir dos dados obtidos na etapa anterior, é desencadeado um treinamento supervisionado<sup>12</sup>, utilizando uma parcela da massa de dados de navegação e separando-os de acordo com a opção escolhida pelo usuário (a, b ou c), preparando os caminhos de navegação para os próximos usuários, através da montagem de um novo menu, ordenado pelo resultado do treinamento da RNA. Dentro de cada grupo de opções, os dados foram divididos em, aproximadamente, 75 a 85% para treinamento e 15 a 25% para validação da rede.

Tal situação compreende o esquema conceitual definido acima por BATESON – estímulo/resposta/reforço. Especificamente ao evento chamado de reforço, BATESON (1991) destaca que a informação conduzida em tal evento caminha ao menos por cinco classes diferentes e propõe:

- a) Sua própria aparição. É perceptível.
- b) Certas características. É um elemento metacomunicativo, na medida que une os outros dois componentes da tríade, reforçando a importância da aprendizagem como um elemento triádico.
- c) Uma certa pauta de contingências entre os três componentes.
- d) Um conceito mais abstrato do fluxo em curso da conduta interativa.
- e) A pauta de busca do sujeito que aprende é "correta", no sentido de que deve buscar a descoberta dessa pauta triádica particular (pp. 201, 202).

#### 4.6 Aplicação do Programa Definitivo

Os dados obtidos da rede neural escolhida são transformados (*desnormalizados*) em números inteiros que representam cada página no menu. O menu é readaptado para cada nova navegação ou novo passo.

O usuário que pela primeira vez acessa o programa precisa se cadastrar, escolher uma opção e após lhe é apresentada a tela de navegação (figura 16), com o índice adaptado pela RNA. A cada passo que ele dá, há uma nova adaptação (figura 17), sendo também testado se o caminho escolhido

---

<sup>12</sup> Os tipos de treinamento serão apresentados no capítulo de Redes Neurais

pelos usuários é o mesmo que o programa previu. Se for, grava um acerto na tabela de previsão, senão, grava como erro. O usuário pode navegar quantas vezes achar necessário, sendo o índice adaptado, a partir da segunda tentativa, ao seu próprio perfil e não ao geral dos usuários, como na sua primeira navegação.

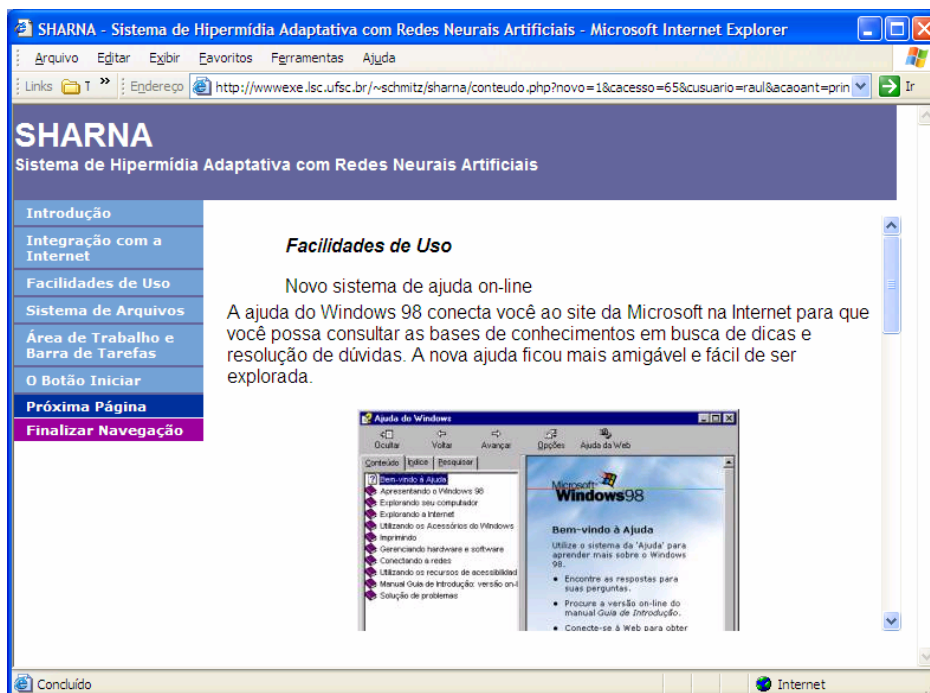


Figura 13 – Passo anterior do usuário

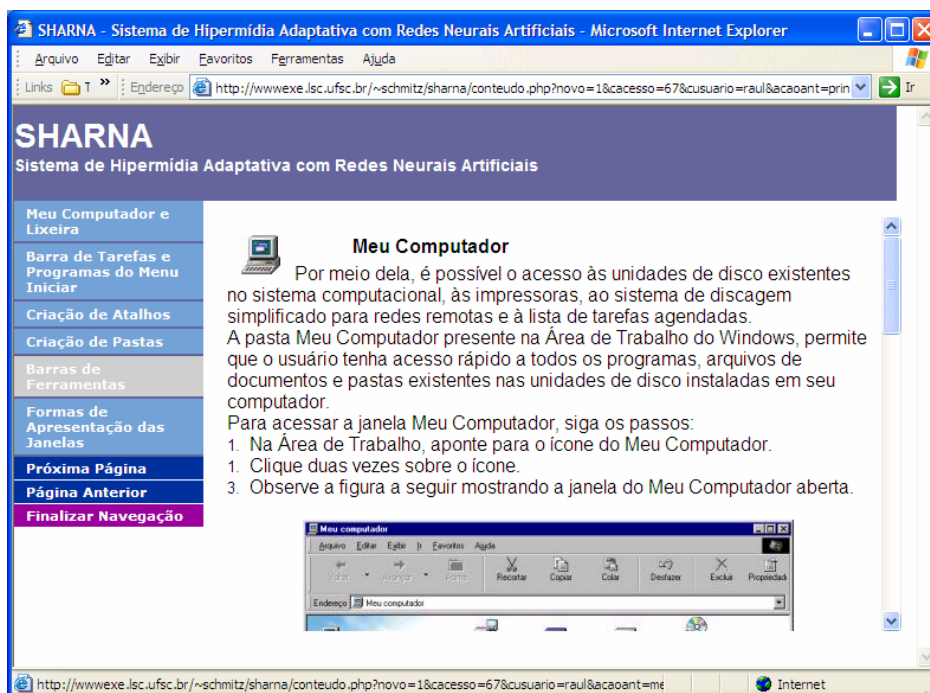


Figura 14 – Passo atual e menu adaptado



A adaptação do menu utilizou pesos para cada página, que foram inicializados com valores entre 0,066 e 0,001, para as páginas 1 a 66, respectivamente. A atualização dos pesos, baseada nas saídas das redes neurais, ocorreu de duas formas distintas.

A primeira utilizou a rede que apresentou o maior índice de acertos, na previsão de um único próximo passo, atribuindo ao primeiro, um valor 2 e diminuindo um décimo, foi dando novos valores aos próximos passos (1,9, 1,8, ...), até o total navegado.

A segunda se baseou no resultado da rede de Jordan com 6 neurônios na camada de saída e atualizou o menu com os mesmos pesos da forma anterior, em grupos de 6 passos que foi a quantidade de opções apresentada de cada vez, no menu.

Em ambas opções, o treinamento da rede foi por épocas, utilizando para tal, a navegação no programa utilizado para a coleta de informações, retirando dela, uma parcela, como é demonstrado no próximo capítulo.

## 5. RESULTADOS OBTIDOS

Nesta etapa são elencados os principais achados em cada rede empregada no trabalho. Suas características mais significativas foram delineadas para a composição da representatividade da eficiência almejada nos treinamentos efetuados. Neste sentido, cada rede é portadora de uma gama de resultados potencializados para o alcance dos objetivos propostos.

### 5.1 Quantificação dos Dados

Os dados de navegação dos usuários foram obtidos a partir de seu acesso à apostila de Windows 98, elencados da seguinte maneira:

- Identificação do usuário: seu *login*, que é único no sistema;
- Seqüência de navegação: ordem da visita do usuário ao sistema, diferenciada para cada tarefa escolhida;
- Passo de navegação: quantidade de sítios visitados pelo usuário em cada navegação;
- Trabalho executado: opção de navegação selecionada (trabalho 1, trabalho 2 ou navegação livre);
- Página de origem: sítio onde o usuário está acessando no momento;
- Página destino: para onde o usuário se desloca após consulta atual;
- Tempo de acesso: Permanência no sítio de origem.

Usuários que acessaram o programa	26
Navegações:	
Livres	28
Trabalho 1	16
Trabalho 2	12
Total	56
Visitas a páginas de conteúdo	653
Páginas de conteúdo	66

**Tabela 2 – Observações levantadas no programa utilizado para coleta de informações (SHARNA)**

Os dados cadastrais foram informados em formulário próprio. Os de maior significado para a análise dos resultados são a idade (distribuição por faixa etária), a experiência (dados já agrupados no cadastro), local de acesso (identifica usuário doméstico, estudante ou profissional).

As informações de movimentação (origem e destino), considerando-se todas as opções de acesso, foram divididas em três massas de dados para o uso nas redes neurais escolhidas. De um total de 653 movimentações, 529 foram direcionadas ao treinamento das redes, 68 para a validação ou adaptação do aprendizado e 65 para testes e simulações.

Para treinar a rede, distintamente, por opção, foram utilizadas as seguintes quantidades de visitas a páginas de conteúdo ou movimentações:

- Navegação livre: 415 movimentações. 342 para treinamento, 38 para validação e 35 para teste;
- Trabalho No.1: 133 movimentações. 102 para aprendizagem, 16 para adaptação e 15 para simulação;
- Trabalho No. 2: 105 movimentações. 76 para treinamento, 14 para validação e 15 para simulação.

As proporções acima foram definidas levando-se em conta navegações completas, ou seja, de usuários que navegaram na apostila e saíram pela opção "SAIR", finalizando normalmente o programa, não o interrompendo antes do final ou simplesmente fechando a janela do navegador.

As redes foram concebidas com apenas um neurônio na camada de saída, para a previsão do próximo passo de navegação. O treinamento utilizado foi *Backpropagation* sem a opção *Momentum*, nas redes *Elman* e *Jordan*, e *Levenberg-Marquadt Backpropagation*, para a rede *Feedforward*. A tabela abaixo representa a capacidade de acerto de cada situação. Para efeito de "aproximação", foram consideradas as diferenças de até dois *sites* para cima ou para baixo, devido aos treinamentos terem sido encerrados antes da estabilização total dos erros da rede e a normalização aproximar-se, mas não alcançar um valor igual a algum existente no grupo de entrada.

Rede Neural	neurônios			erro médio	épocas ou ciclos de treinamento	acertos	aproximações	erros	acertos + aproximações
	entradas	contexto	Ocultas						
Jordan	1	2	16	3,1619	280	15	10	40	25
Jordan	2	1	16	2,8111	1420	43	5	17	48
Elman	3	1	16	0,1207	2200	9	9	47	18
Elman	3	1	16	0,1142	4100	7	7	51	14
Elman	3	1	16	0,1134	5400	6	3	56	9
Feedforward	3		16	0,1194	500	4	10	51	14
Feedforward	3		16	0,1192	1000	5	5	55	10
Feedforward	3		16	0,1191	2000	10	4	51	14

**Tabela 3 – Demonstrativo dos resultados das previsões das RNAs**

Ainda foram verificados os seguintes resultados:

- Rede Jordan, treinamento contínuo, 43 acertos, 10 erros e 12 aproximações.
- Rede Jordan, resolução do trabalho 2, 500 épocas, erro médio 0,0767, 10 acertos, 11 erros e 8 aproximações.

Também foi simulada uma rede Jordan com seis neurônios na camada de saída, com resultados que foram utilizados para adaptar o menu de navegação do sistema SHARNA, mas sem levantamento de acertos e erros.

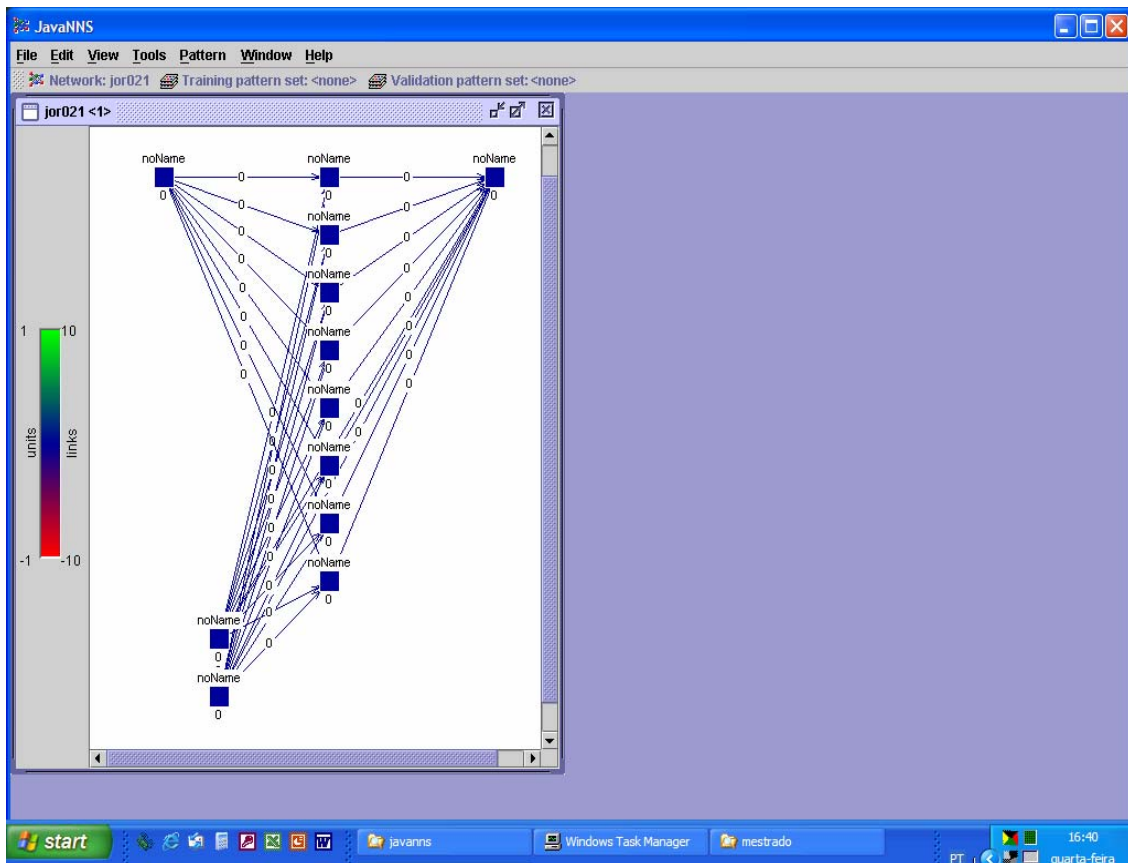


Figura 18 – Rede de Jordan com um neurônio na entrada

A figura 18 representa uma rede de Jordan com um neurônio na camada de entrada, 8 na camada oculta, 2 unidades de contexto e um na saída, com os pesos zerados, ao ser inicializada, no simulador JavaNNS.

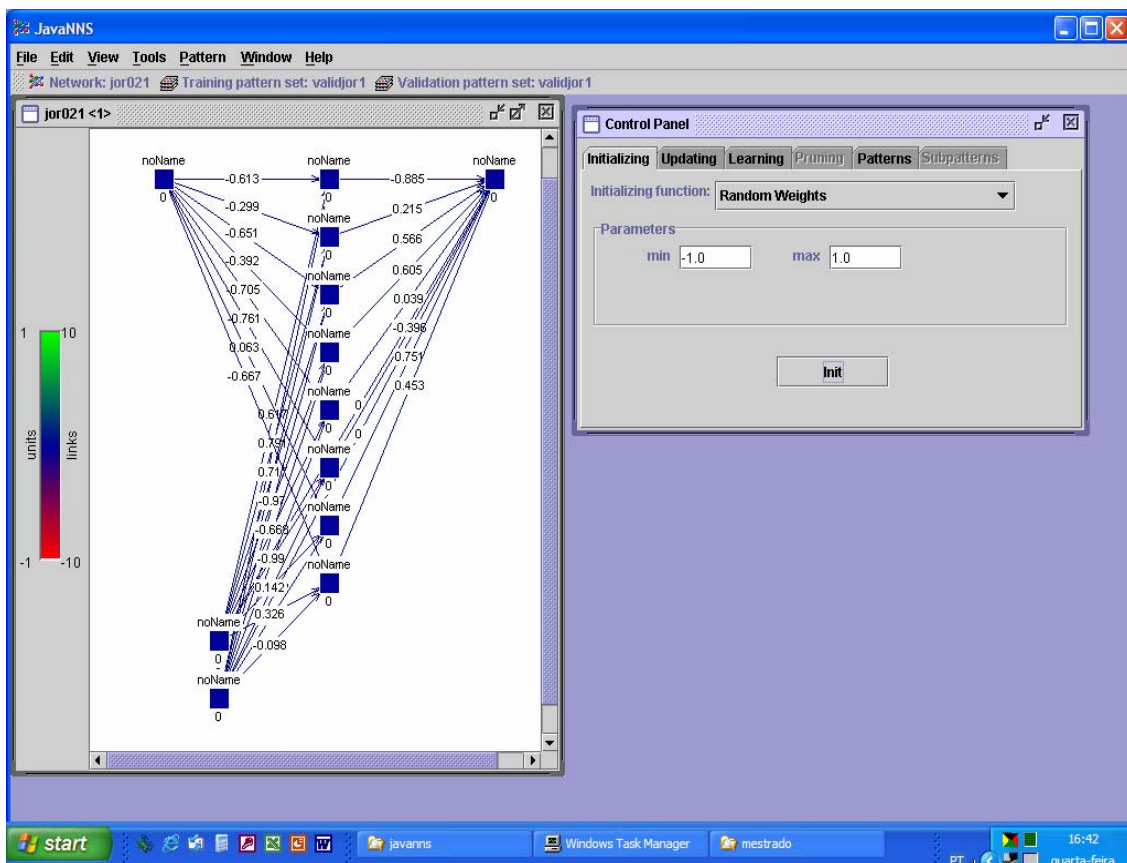


Figura 19 – Rede Jordan com os pesos iniciais

A figura 19 apresenta a mesma rede de Jordan da figura 18, apresentando os pesos dos neurônios e das conexões, em um momento qualquer. O JavaNNS apresenta, também, seu painel de controle.

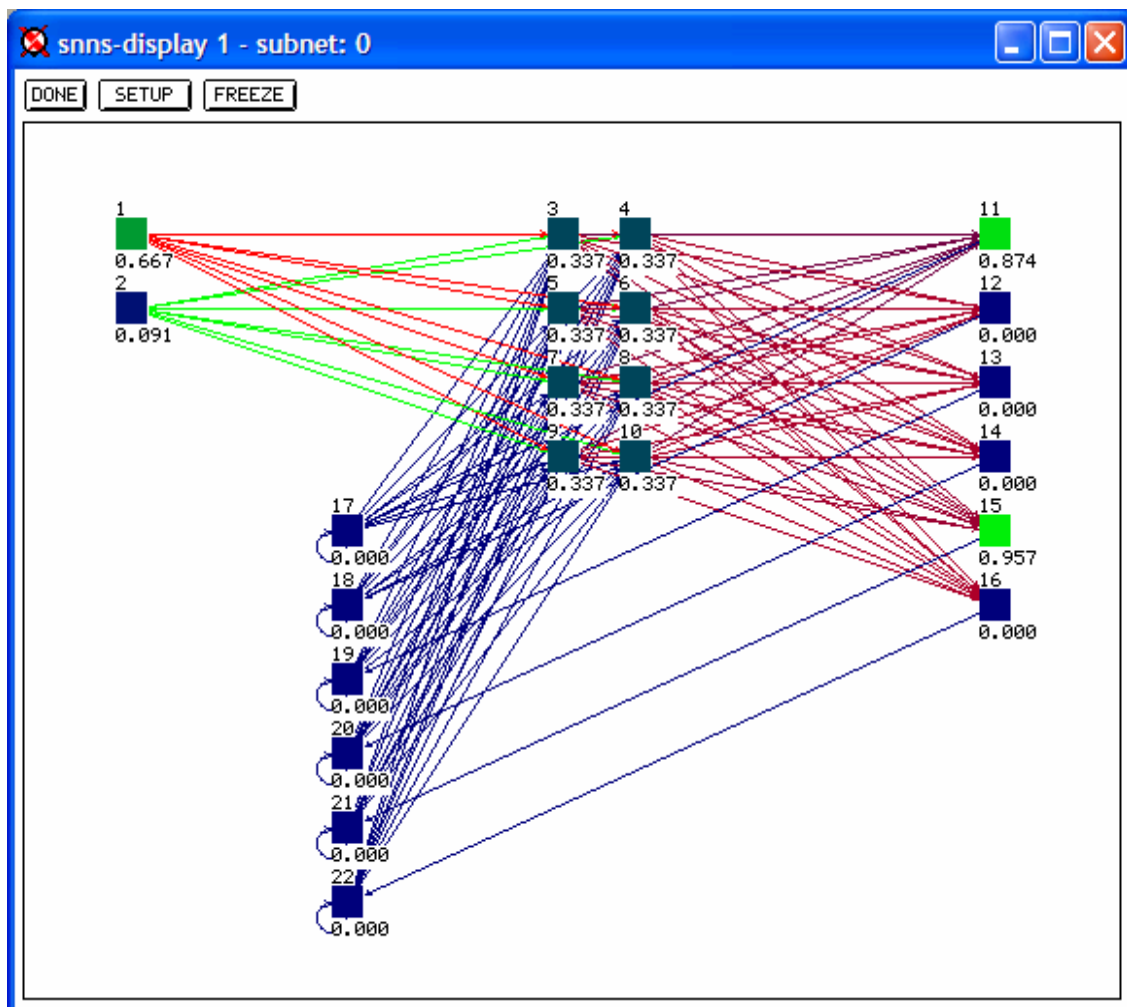


Figura 20 – Rede Jordan com seis neurônios na camada de saída

O exemplo apresentado na figura 20 é o da rede de Jordan com seis neurônios na camada de saída. Foi concebido no SNNS e mostra os pesos em um momento qualquer, detalhando as ligações recorrentes entre as unidades de contexto.

## 5.2 Conclusão do Capítulo

O levantamento foi quantitativo e comparativo, pois possibilitou escolher entre vários tipos, topologias e treinamentos de rede. Foram utilizadas redes *Feedforward*, Elman e Jordan, com número diferente de neurônios nas camadas de cada uma.

## 6. ANÁLISE

Na interpretação comparativa dos resultados, a rede de Jordan, com dois neurônios na camada de entrada, foi a que melhor previu o próximo passo do usuário. Também foi a que apresentou mais regularidade de acertos durante a simulação, com uma pequena tendência a queda de acertos no final.

A escolha da navegação por tarefa ou trabalho<sup>13</sup>, em comparação à navegação total, não apresentou resultados muito diferenciados, não justificando, com a amostra utilizada, a divisão por trabalhos para o treinamento da rede.

A previsão, na rede de Elman, foi mais precisa nos primeiros passos e a degradação teve ocorrência em conformidade com o avanço dos ciclos de treinamento. Treinada com mais ciclos, a rede passou a prever com mais precisão os passos intermediários do bloco de testes e, posteriormente, com mais etapas, os passos finais.

A diminuição da quantidade de navegações no bloco de testes ou trabalho é importante quando da utilização da rede Elman no processo adaptativo, para que as previsões ocorram em etapas menores, aproximando os melhores resultados. Por conseqüência, integram-se mais informações aos treinamentos, que se tornam mais freqüentes.

A rede *Feedforward* foi a que apresentou as menores taxas de erro médio, apesar de menor número de acertos nas previsões, inicialmente. Com o aumento do número de etapas de aprendizagem, foi-se acentuando a capacidade de previsão.

Rede Neural	acertos	aproximações	erros	acertos + aproximações	percentual de acertos	percentual de aproximações
Jordan	43	5	17	48	66,15%	73,85%
Elman	9	9	47	18	13,85%	27,69%
Feedforward	10	4	51	14	15,38%	21,54%

**Tabela 4 – Percentuais de acertos obtidos na previsão de navegação pelas RNAs**

---

<sup>13</sup> Conforme definido no capítulo quatro, onde o modelo de previsão é demonstrado



Comparando com outras tecnologias de previsão de navegação adaptativa, as redes de Jordan obtiveram percentuais de acerto de 66,15% e de aproximação de 73,85%, para o próximo passo, enquanto que com Redes Bayesianas (Schreiber, 2003) foram obtidos 61,56%. Em contrapartida, esta última consegue gerar uma lista de caminhos a seguir, que as redes neurais utilizadas não foram capazes de elaborar com consistência.

### **6.1 Análise Multivariada**

Baseado nos conceitos de Schrader (1974), no contexto da descoberta, quando da análise dos dados, surgem resultados que não são contemplados nas hipóteses, principalmente nas análises secundárias.

Desta maneira, para visualizar que níveis de acertos foram encontrados, combinando outras informações, além das que foram oferecidas às redes neurais, procurou-se organizar outras hipóteses.

Para melhor operacionalizar este estudo, foi utilizada, para testes, toda a massa de dados, inclusive com as navegações aplicadas nos treinamentos, então, a previsão foi realizada sobre dados conhecidos e desconhecidos, conjuntamente. A rede escolhida foi a de Jordan, pois apresentou os melhores resultados, que com esta última quantidade de dados, ficou em 70,68%, ou 461 acertos. A variável independente individual foi sempre considerada o próximo passo previsto corretamente.

Visando a futura utilização de outras variáveis, além dos passos anteriores, na condição de entrada para novas redes neurais, no intuito de prever navegações, foram formuladas três hipóteses de dependência multivariada à variável independente “passos de navegação”.

Hipótese 1: combinando-se os acertos dos passos de navegação com a experiência em informática do usuário (intermediário, avançado, *expert*, outros) e sua área de atuação (profissional de outra área, estudante de informática, profissional de informática, professor de informática, outros), como variáveis dependentes, obteve-se o seguinte:

Experiência e Ocupação do Usuário		Acertos		Erros		Somadas	
		Quant.	Percent.	Quant.	Percent.	Quant.	Percent.
Intermediário	Profis.o/área	142	63,4%	82	36,6%	224	100%
	Estudante inf.	71	75,5%	23	24,5%	94	100%
	Profis. inform.	34	75,6%	11	24,4%	45	100%
	Professor inf.	2	66,7%	1	33,3%	3	100%
	Outros	24	70,6%	10	29,4%	34	100%
Avançado	Profis.o/área	27	65,9%	14	34,1%	41	100%
	Estudante inf.	44	81,5%	10	18,5%	54	100%
	Profis. inform.	38	80,9%	9	19,1%	47	100%
	Professor inf.	12	63,2%	7	36,8%	19	100%
	Outros	8	61,5%	5	38,5%	13	100%
<i>Expert</i>	Profis.o/área	6	60%	4	40%	10	100%
	Estudante inf.	8	80%	2	20%	10	100%
	Profis. inform.	24	77,4%	7	22,6%	31	100%
	Professor inf.	8	72,7%	3	27,3%	11	100%
	Outros	0	0%	0	0%	0	100%
Outros	Profis.o/área	5	62,5%	3	37,5%	8	100%
	Estudante inf.	2	100%	0	0%	2	100%
	Profis. inform.	0	0%	0	0%	0	100%
	Professor inf.	3	100%	0	0%	3	100%
	Outros	3	75%	1	25%	4	100%
Total	Intermediário	273	68,3%	127	31,7%	400	100%
	Avançado	129	74,1%	45	25,9%	174	100%
	<i>Expert</i>	46	74,2%	16	25,8%	62	100%
	Outros	13	76,5%	4	23,5%	17	100%
Total	Profis.o/área	180	63,6%	103	36,4%	283	100%
	Estudante inf.	125	78,1%	35	21,9%	160	100%
	Profis. inform.	96	78%	27	22%	123	100%
	Professor inf.	25	69,4%	11	30,6%	36	100%
	Outros	35	68,6%	16	31,4%	51	100%
Total		461	70,6%	192	29,4%	653	100%

**Tabela 5 – Tabela trivariada que representa a hipótese 1**

A tabela 5 indica que a variável “experiência na área” influencia positivamente a previsão de navegação, principalmente se for descartado o valor “intermediário”. Já a variável “ocupação” destaca positivamente a

previsão para os valores “estudante de informática” e “profissional de informática”.

Hipótese 2: foram escolhidos, como variáveis dependentes, a opção de navegação (navegação livre, trabalho 1 e trabalho 2) e os passos dados dentro da navegação real. Os passos foram considerados aos pares, principalmente, do primeiro ao oitavo passo, porque poucos usuários navegaram mais que isto:

Opção de Navegação e Passos		Acertos		Erros		Somadas	
		Quant.	Percent.	Quant.	Percent.	Quant.	Percent.
Navegação Livre	1-2	46	66,7%	23	33,3%	69	100%
	3-4	67	70,5%	28	29,5%	95	100%
	5-6	106	73,1%	39	26,9%	145	100%
	7-8	44	62%	27	38%	71	100%
	9 ou mais	21	60%	14	40%	35	100%
Trabalho 1	1-2	10	76,9%	3	23,1%	13	100%
	3-4	17	68%	8	32%	25	100%
	5-6	31	68,9%	14	31,1%	45	100%
	7-8	34	75,6%	11	24,4%	45	100%
	9 ou mais	4	80%	1	20%	5	100%
Trabalho 2	1-2	12	70,6%	5	29,4%	17	100%
	3-4	18	81,8%	4	18,2%	22	100%
	5-6	41	77,4%	12	22,6%	53	100%
	7-8	7	77,8%	2	22,2%	9	100%
	9 ou mais	3	75%	1	25%	4	100%
Total	Navegação Livre	284	68,4%	131	31,6%	415	100%
	Trabalho 1	96	72,2%	37	27,8%	133	100%
	Trabalho 2	81	77,1%	24	22,9%	105	100%
Total	1-2	68	68,7%	31	31,3%	99	100%
	3-4	102	71,8%	40	28,2%	142	100%
	5-6	178	73,3%	65	26,7%	243	100%
	7-8	85	68%	40	32%	125	100%
	9 ou mais	28	63,6%	16	36,4%	44	100%
Total		461	70,6%	192	29,4%	653	100%

**Tabela 6 – Tabela trivariada que representa a hipótese 2**

A fragmentação da previsão de navegação em tarefas ou trabalhos se mostrou eficiente, considerando que na navegação livre, os usuários tiveram liberdade total para navegar, no trabalho 1, resolveram um trabalho que tem

uma certa flexibilidade de opções para resolução e o trabalho 3 possui um caminho mais rígido para a solução do problema e os percentuais de acerto evoluíram progressivamente aos respectivos trabalhos, além disso, considerando-se a resolução destes contra a navegação livre, a influência da variável “opção de navegação” foi positiva em relação aos acertos de previsão.

Ao considerar a variável “passo na navegação”, foi verificado que sua importância foi positiva nos passos intermediários (3-4 e 4-5) e negativa nos demais.

Hipótese 3: variáveis dependentes, intervalos de tempo de permanência em cada página e os passos dados dentro da navegação real. Os passos foram considerados aos pares, do primeiro ao oitavo passo e da mesma maneira do considerado na hipótese 2:

Tempo de Permanência em cada Página e Passos	Acertos		Erros		Somadas		
	Quant.	Percent.	Quant.	Percent.	Quant.	Percent.	
Até a 20 segundos	1-2	28	70%	12	30%	40	100%
	3-4	43	72,9%	16	27,1%	59	100%
	5-6	93	75,6%	30	24,6%	123	100%
	7-8	46	66,7%	23	33,3%	69	100%
	9 ou mais	11	64,7%	6	35,3%	17	100%
De 21 seg. a 1 min.	1-2	30	68,2%	14	31,8%	44	100%
	3-4	35	70%	15	30%	50	100%
	5-6	77	71,3%	31	28,7%	108	100%
	7-8	23	67,6%	11	32,4%	34	100%
	9 ou mais	12	60%	8	40%	20	100%
Mais de 1 minuto	1-2	10	66,7%	5	33,3%	15	100%
	3-4	24	72,7%	9	27,3%	33	100%
	5-6	8	66,7%	4	33,3%	12	100%
	7-8	16	72,7%	6	27,3%	22	100%
	9 ou mais	5	71,4%	2	28,6%	7	100%
Total	Até a 20 segundos	221	71,8%	87	28,2%	308	100%
	De 21 seg. a 1 min.	177	69,1%	79	30,9%	256	100%
	Mais de 1 minuto	63	70,8%	26	29,2%	89	100%
Total	1-2	68	68,7%	31	31,3%	99	100%
	3-4	102	71,8%	40	28,2%	142	100%
	5-6	178	73,3%	65	26,7%	243	100%
	7-8	85	68%	40	32%	125	100%
	9 ou mais	28	63,6%	16	36,4%	44	100%
Total		461	70,6%	192	29,4%	653	100%

**Tabela 6 – Tabela trivariada que representa a hipótese 3**

A variável “tempo de permanência” não parece ter uma influência maior, na observação dos resultados de acertos de previsão de navegação, como visto na tabela 6, não há uma evolução diretamente proporcional entre o aumento do tempo de permanência com os acertos de previsão.

Em trabalho recente, Schreiber (2003) demonstra o tempo como fator relevante na previsão de navegação em ambiente adaptativo, mas utilizando redes Bayesianas.

No presente trabalho, que utiliza redes neurais recorrentes, a importância da variável tempo não foi verificada com a mesma magnitude, ao menos na forma com que o mesmo foi desenvolvido.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em referência a todo o exposto neste trabalho, se agregam, em desfecho, alguns aspectos pertinentes que não poderiam ficar à margem em uma discussão do gênero.

### **7.1 Resolução das Propostas Introdutórias**

Um estudo combinado de redes neurais e navegação adaptativa foi alcançado através da soma de fatores subjetivos e não-normatizáveis, ou seja, através de aprendizado próprio das redes recorrentes, um avanço no sentido de rever as formas adequadas de frequência de treinamento e de melhoria nos resultados de aprendizado por épocas. O formato de navegação em fecho deixa de ser uma questão delicada e assume um caráter de normalidade importante para a continuidade do processo de previsão por aprendizagem.

Em relação aos objetivos propostos, de caráter geral e específico, foi alcançado o seguinte:

Medir, de maneira satisfatória, a capacidade de previsão das redes de Jordan através da adequação das informações de entrada à situação de realimentação que ela necessitou;

A aplicação do aprendizado por épocas demonstrou que algumas redes necessitam de frequência diferenciada no treinamento, para que a eficiência da previsão torne-se uma garantia de melhor adequação;

O treinamento contínuo apresentou resultado semelhante, mas com taxa de erro médio menor e com melhor possibilidade de utilização em menus adaptativos.

Foram apresentadas diversas alternativas, no contexto das redes neurais, para a previsão do próximo passo;

Em situações específicas, os testes realizados não foram satisfatórios, pois na variável tempo, por exemplo, não houve uma consideração qualificada. A variável “passo de navegação” foi utilizada e foi observado que, com as redes neurais testadas, o maior índice de acertos se concentrou nos passos

intermediários, ou seja, a rede acertou menos as previsões no início e no final da navegação de cada usuário;

Na resolução de trabalhos específicos notou-se maior influência quando a tarefa realizada possuía pouca flexibilidade de solução;

Foram utilizados os simuladores SNNS (Zell et al., 1995) e JavaNNS (ZELL et al., 2002) para operacionalizar as simulações de outras redes, preservando o mesmo número de neurônios na camada oculta e propiciando na rede *Feedforward* o uso de três neurônios nas entradas, para que pudesse receber informações semelhantes às das redes recorrentes;

O percentual final de acerto foi comparado ao das redes Bayesianas, em Schreiber (2003), reconhecendo nelas maior capacidade de entrosamento com ambientes adaptativos.

## **7.2 Limitações Encontradas**

Algumas limitações processuais e de resultados foram verificadas na elaboração deste trabalho e serão apresentadas a seguir.

### **7.2.1 Dificuldades Processuais**

As redes neurais, em geral, são de difícil construção. Alguns simuladores facilitam a elaboração das mesmas, mas apresentam limitações quanto à interface e aos resultados.

O SNNS possui uma interface um pouco instável e de manejo pouco "familiar", dentro do sistema Windows. Toda vez que o usuário clica no botão fechar, por exemplo, o SNNS fecha todas as janelas, sem salvar os trabalhos.

Na interface Windows há pouca variedade de topologias de redes, mas possui a vantagem de contar com vários tipos de treinamento e combinações amplas de inicialização e validação de dados.

O JavaNNS, que é uma interface Java do SNNS, é mais simples de utilizar, mas não é possível gerar código nem aplicar com facilidade testes com dados operacionais.

Nestes dois sistemas, a entrada de dados ou alimentação dos neurônios de entrada é de um padrão um pouco difícil de ser adaptado, a partir de arquivos texto do Windows, não possuindo interface para outro software

qualquer, como Word ou Excel. Os resultados, também, precisam ser transformados para poderem ser analisados dentro de algum dos aplicativos citados, do Windows.

Uma solução encontrada foi desenhar as redes no JavaNNS e executá-las no SNNS.

Os simuladores acima são disponibilizados, também, para sistemas Linux e Unix, aparentemente, com mais recursos, mas esta opção não foi testada.

Para comparação operacional, foi apreciada uma utilização experimental do MATLAB (Versão 6), com *Neural Networks Tools*, que demonstrou ser uma ferramenta que aceita as informações com mais facilidade e os resultados obtidos podem ser passados para arquivos tipo texto, mas demonstrou ser muito demorada, quanto ao treinamento. A versão utilizada também não possuía muitas opções topológicas de rede, nem muitos algoritmos de aprendizado.

### **7.2.2 Limitações das Redes Neurais**

As redes neurais testadas, Jordan, Elman e *Feedforward* demonstraram eficiência na previsão das navegações quanto ao primeiro passo, mas na obtenção e classificação dos passos posteriores, situação importante para adaptação de menus de navegação, não demonstraram os mesmos resultados.

Algumas situações, como na combinação de variáveis para iniciar e treinar a rede, demonstraram muita demora no processamento, inviabilizando o seu uso em ambiente de hipermídia, no qual o usuário espera resposta mais rápida.

A rede de Jordan possui, ainda, um número não muito grande ou fácil de encontrar de trabalhos realizados, o que dificulta em muito seu estudo.

### **7.2.3 Propostas a Investigações Futuras**

O sistema adaptativo foi, ainda, apreciado por alguns usuários que gostaram da forma como ele se modifica, facilitando o acesso a informações mais diretamente, encurtando caminhos de navegação.



Também foram visualizadas aplicações do método adaptativo em áreas comerciais, que utilizem informações de usuário ou cliente que se modifiquem com facilidade. Neste caso, também, as redes neurais têm uma função importante de reconhecer os padrões, tanto do comportamento destes usuários, como das modificações que possam ocorrer neste comportamento.

A Hipermídia adaptativa e as redes neurais criam, também, opções interdisciplinares interessantes, como avaliações sócio-culturais com psicologia e informática, avaliação de mercados baseada em padrões e variações de comportamento. Aprendizado, em todos os níveis de educação, adaptado à experiência ou ao conhecimento do aluno e à evolução destes padrões. Reconhecimento de preferências, tendências, etc., a partir da experiência do usuário, bem como da observação do seu comportamento.

A própria aplicação das redes neurais para reconhecimento de padrões e efetiva adaptação da navegação, na hipermídia, ainda não foi implementada neste trabalho, completamente, abrindo uma perspectiva direta de aplicação dos conceitos aqui estudados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAGNANO, Nicolas. **Dicionário de Filosofia**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

AOS, **Texas Advanced Optoelectronic Solutions. Products**. Disponível por WWW em <http://www.taosinc.com/products.htm> . Julho de 1999.

BATESON, Gregory. **Una Unidad Sagrada**. Barcelona: Gedisa, 1993.

BITTENCOURT, Guilherme. **Inteligencia Artificial**. 2ª. edição. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.

BOLLEN, J.; HEYLIGHEN, F.. **Algorithms for the Self-Organization of Distributed Multi-user Networks**. In: R. Trappl (ed.). Cybernetics and Systems '96. World Science, Singapore, 1996.

BOURDIEU, Pierre.; CHAMBOREDON, Jean-Claude.; PASSERON, Jean-Claude. **A profissão de sociólogo: preliminares epistemológicas**. Petrópolis: Vozes, 1999.

BRAGA, Antonio P., LUDERMIR Teresa B.; CARVALHO André C. P. L. F.. **Redes Neurais Artificiais: Teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BRUSILOVSKY, Peter. **Adaptative Hypermedia: User Modeling and User Adapted Interaction**, v. 11, n. 1, pp. 87-110. Kluwer, 2001.

BRUSILOVSKY, Peter. **Methods and Techniques of Adaptive Hypermedia. User Modeling and User Adapted Interaction. Special issue on adaptive hypertext and hypermedia**, 1996.

CALVI, Licia & de BRA, Paul. ***A Flexible Hypertext Courseware on the Web Based on a Dynamic Link Structure in Interacting with Computers***, pp. 143-154, Southampton, UK, 1998.

De ROSIS, F.; De CAROLIS, B.; PIZZUTILO, S. ***User Tailored Hypermedia Explanations***. International Conference on User Modeling. Hyannis. <http://www.cs.bgsu.edu/hypertext/adaptive/deRosis.html>, 1993.

DEITEL, H. M. & DEITEL, P. J.. **JAVA: Como Programar**. São Paulo: Bookman, 2001, 3a. edição.

ELMAN, J. L.. ***Finding Structure in Time***. Cognitive Science. Vol. 14. pp. 179-211, 1990.

FERNANDES, Valmir T.. **Seminário Hipermídia Adaptativa: Tendências**. DCA/FEEC/UNICAMP, p. 2. Campinas, 1997.

FISCHER, Herbert G.. **PHP: Guia de Consulta Rápida**. São Paulo: Novatec Editora, 2001.

GREENSPAN, Jay & BULGER, Brad. ***MySQL/PHP Database Applications***. Foster city: M&T Books, 2001.

HAYKIN, Simon. **Redes Neurais: Princípios e Prática**. Porto Alegre: Bookman, 2001, 2a. edição.

HEYLIGHEN, F. & J. BOLLEN. ***The World Wide Web as a Superbrain: From Methafor to Model***. In: Cybernetics and Systems '96. World Science, Singapore, 1996.

KAUFFMAN, S. A.. *At Home in the Universe*. New York: Oxford University Press, 1995.

KOBSA, Alfred. *Generic User Modeling Systems*. In: *User Modeling and User Adapted Interaction*. Amsterdam: Kluwer, 2001.

JORDAN, Michael I.. *Attractor Dynamics and Parallelism in a Connectionist Sequential Machine*. *The Eighth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. pp. 531-546. Amherst, 1986.

LÉVY, Pierre. *O Que é Virtual?* Rio de Janeiro: Editora 34, 1996.

MATTELART, Armand. *A Globalização da Comunicação*. Bauru: EDUSC, 2000.

MAYER-KRESS G. & C. BARCZYS. *The Global Brain as an Emergent Structure from the Worldwide Computing Network*. *The Information Society* 11 (1), 1995.

MCCULLOCH, W. S. & PITTS, W.. *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, n.5, pp. 111-133, 1943.

MENDEL, J. M.; MCLAREN, R. W.. *Reinforcement-learning Control and Pattern Recognition Systems*. In: *Adaptive Learning and Pattern Recognition Systems: Theory and Applications*, New York: Academic Press, 1970.

MORIN, Edgar. *Introdução ao Pensamento Complexo*. Lisboa: Instituto Piaget, 2001.

NIEDERAUER, Juliano. **Desenvolvendo Websites com PHP 4**. São Paulo: Novatec Editora, 2001.

NIELSEN, Jakob. **Hypertext and Hipermedia**. Boston: Academic Press INC., 1990.

NILSSON, Nils J.. **Artificial Intelligence: A New Synthesis**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1998.

PALAZZO, Luiz A. M.. **Sistemas de Hiperímia Adaptativa**. Anais do XXII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, pp. 287-325. Florianópolis, 2002.

PALAZZO, Luiz A. M.. **Modelos Proativos para Hiperímia Adaptativa**. Tese de Doutorado. PGCC da UFRGS. Porto Alegre, 2000.

PALAZZO, Luiz A. M.; COSTA, A. C. R.; BRISOLARA, L. B.; GONÇALVES, R. R. O.. **Hiperímia Adaptativa na Educação Online: Um modelo proativo e sua aplicação na web**. In: Revista da UCPEL, jul-dez de 1999. Pelotas, 1999.

POHL, W.. **Labo-Ur – Machine Learning for User Modeling**. In: *Proceedings of the Seventh International Conference on Human-Computer Interaction*. Amsterdam: Elsevier, 1997.

SCHRADER, Achim. **Introdução à Pesquisa Social Empírica**. Porto Alegre: Globo/UFRGS, 1974.

SCHREIBER, Jacques N. C.. **Análise do Tempo de Navegação na Composição de um Modelo para Hiperímia Adaptativa**. Tese de Doutorado. CPGCC da UFSC. Florianópolis, 2003.

SOUCEK, Branko. **Neural and Concurrent Real-Time Systems**. Wiley, 1989.

STAFF, Christopher. **HyperContext: Using Context in Adaptive Hypertext**. Disponível em WWW por [Http://www.cs.um.edu.mt/~cstaff/HCTBrazil97/HCT97.html](http://www.cs.um.edu.mt/~cstaff/HCTBrazil97/HCT97.html), 1997.

TAFNER, Malcon A.; XEREZ, Marcos de; RODRIGUES FILHO, Ilson W.. **Redes Neurais: Introdução e Princípios da Neurocomputação**. Blumenau: Editora da FURB, 1996.

TATIBANA, Cassia Yuri; KAETSU, Deisi Yuki. **Uma Introdução às Redes Neurais**. [Http://www.din.uem.br/ia/neurais](http://www.din.uem.br/ia/neurais), 1998.

TORI, Romero; RECH, Mauro. **Introdução a Multimídia e Hipermídia**. São Paulo: Academídia, 1995.

VASSILEVA, J.: **A task-centered approach for user modelling in a hypermedia office documentation system**. *User Modeling and User Adapted Interaction*. v.6, n.2-3, pp.87-129. *Special issue on adaptive hypertext and hypermedia*, 1996.

WATZLAWICK, Paul; KRIEG, Peter. **El Ojo del Observador: contribuciones al constructivismo**. Barcelona: Editorial Gedisa, 1994.

WAZLAWICK, Raul S.. **Um Modelo Operatório para Construção de Conhecimento**. Tese de Doutorado. PPGEF da UFSC, pp. 58-74. Florianópolis, 1993.

ZELL Andreas; FISCHER Igor; HENNECKE Fabian et al.. **Java Neural Networks Simulator (JavaNNS). User's Manual. Version 1.1. Department of Computer Architecture. University of Tübingen**. Tübingen: 2002.

ZELL, Andréas; MACHE, Niels; MAMIER, Günter et al.. **Stuttgart Neural Network Simulator (SNNS)**. *User's Manual. Version 4.1. Institute of Parallel and Distributed High-Performance Systems (IPVR). Applied Computer Science and Image Understanding. University of Stuttgart. Stuttgart, 1995.*