

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**UMA ABORDAGEM DE REDES QUANTIZADAS E
OBJETOS MULTIFORMES PARA MODELAGEM DE
DOMÍNIO EM SISTEMAS DE TUTORIA INTELIGENTES**

RICARDO RAMOS FRAGELLI

ORIENTADOR: JOSÉ ALEXANDER ARAÚJO

DOUTORADO EM CIÊNCIAS MECÂNICAS

PUBLICAÇÃO: ENM.TD – 06/2010

BRASÍLIA/DF: MAIO – 2010

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**UMA ABORDAGEM DE REDES QUANTIZADAS E OBJETOS
MULTIFORMES PARA MODELAGEM DE DOMÍNIO EM
SISTEMAS DE TUTORIA INTELIGENTES**

RICARDO RAMOS FRAGELLI

**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA
DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
DOUTOR EM CIÊNCIAS MECÂNICAS.**

APROVADA POR:

**Prof. José Alexander Araújo, Ph.D. (ENM – UnB)
(Orientador)**

**Prof. Romero Tavares da Silva, Dr. (DF/CCEN – UFPB)
(Examinador Externo)**

**Prof. Marco Aurelio de Carvalho, Ph.D. (CIC – UnB)
(Examinador Externo ao Programa)**

Prof. Armando de Azevedo Caldeira Pires, Dr. (ENM – UnB)
(Examinador Interno)

Prof. Edgar Nobuo Mamiya, Dr. (ENM – UnB)
(Examinador Interno)

BRASÍLIA/DF, 18 DE MAIO DE 2010.

FICHA CATALOGRÁFICA

FRAGELLI, RICARDO RAMOS

Uma Abordagem de Redes Quantizadas e Objetos Multifomes para Modelagem de Domínio em Sistemas de Tutoria Inteligentes.

vi, 163p., 210 x 297 mm (ENM/FT/UnB, Doutor, Ciências Mecânicas, 2010).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Sistema de Tutoria Inteligente

2. Objeto de Aprendizagem Multiforme

3. Rede Quantizada

I. ENM/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FRAGELLI, R.R. (2010). Uma Abordagem de Redes Quantizadas e Objetos Multifomes para Modelagem de Domínio em Sistemas de Tutoria Inteligentes. Tese de Doutorado em Ciências Mecânicas, Publicação ENM.TD – 06/2010, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 163p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Ricardo Ramos Fragelli.

TÍTULO: Uma Abordagem de Redes Quantizadas e Objetos Multifomes para Modelagem de Domínio em Sistemas de Tutoria Inteligentes.

GRAU: Doutor

ANO: 2010

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Ricardo Ramos Fragelli
SHCES 1109 Bloco E apt 102, Cruzeiro Novo.
70.658-195 Brasília – DF – Brasil.
fragelli@hotmail.com

*Dedico este trabalho à minha avó Glória,
Às minhas princesas Thaís, Luísa e Vanessa,*

Com muito amor.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade de existir, de viver, de duvidar, de descobrir, de ser.

Aos meus mentores espirituais que me acompanham nessa fantástica jornada na Terra e que nunca me abandonam, mesmo com todos meus deslizes e imperfeições.

À minha esposa Thaís, minha luz, meu norte, minha melhor amiga. Princesa que me acompanha desde os meus 16 anos. Quantas aventuras! Quantas descobertas! Que vida! Obrigado pelo apoio incondicional, constante, presente e assíduo.

Às minhas filhas Luísa e Vanessa, por tornarem nossas vidas mais importantes e divertidas. De nada valeria todo o esforço sem o seu sorriso.

À minha mãe Angela pelo exemplo de amor, à minha mãe Isauri pelo exemplo de humor e de vida, ao meu pai Luiz Sérgio pela criação e pelo exemplo de dedicação ao trabalho e ao meu pai Otílio pelo exemplo de hombridade.

Aos meus irmãos Angelo, Caio, Cintia, Flávia, Guilherme, Luiz Sérgio, Rodrigo e Thiago por todo apoio, confiança e admiração recíproca. Obrigado por terem compreendido com afetuosa contrariedade a razão do meu distanciamento.

Ao meu professor José Alexander “Alex” pela orientação e pela amizade. Obrigado pela ousadia de ter depositado em mim a sua confiança.

Aos professores Marco Aurélio e Romero pelo grande auxílio nas definições do trabalho por ocasião da banca de qualificação e pelos diversos outros contatos. Valiosos exemplos de serenidade acadêmica e simpatia!

Aos especialistas que se dispuseram a avaliar o trabalho. Obrigado por se mostrarem interessados mesmo após tantas horas de conversa e debate.

A todos os amigos que me incentivaram nos momentos difíceis e que estiveram comigo nas oportunidades festivas. A todos aqueles que ajudaram o trabalho de algum modo e consequentemente foram contra a misopedia e o misoneísmo acadêmico.

(...) Ninguém é igual a ninguém.

Todo ser humano é um estranho ímpar.

(Carlos Drummond de Andrade, fragmento de Igual-Desigual)

RESUMO

UMA ABORDAGEM DE REDES QUANTIZADAS E OBJETOS MULTIFORMES PARA MODELAGEM DE DOMÍNIO EM SISTEMAS DE TUTORIA INTELIGENTES

Os Sistemas de Tutoria Inteligentes (STI) e os Sistemas de Hipermídia Adaptativa (SHA) no contexto educacional surgiram com o objetivo de promover ambientes adaptáveis aos diversos perfis de estudantes. Em pesquisas recentes, percebe-se uma tendência de união dessas duas áreas em favor de ambientes mais inteligentes e com um maior poder de adaptação.

Nesse sentido, o objetivo principal desta tese foi propor uma modelagem do domínio de conhecimento de um STI baseado em uma arquitetura que considerasse estratégias pedagógicas distintas e que contemplasse objetos de aprendizagem adaptativos. A modelagem foi discutida em três níveis (fina, média e grossa) e a solução proposta envolveu a utilização de Redes Quantizadas em que a quantização foi realizada por meio das características dos nodos e não pela conexão existente entre eles. Para a modelagem fina foram utilizados Objetos de Aprendizagem Multiformes (OAM).

A modelagem foi testada e avaliada por três especialistas. Também foram realizadas simulações computacionais nas quais se estudou a estabilidade do modelo e os percursos de aprendizagem sugeridos em diferentes situações. A conclusão final foi que o modelo construído respondeu bem às situações a que foi submetido, oferece controles suficientes para atuação de agentes pedagógicos e é bastante flexível no sentido de agregar novas estratégias pedagógicas.

Palavras-chave: Sistema de tutoria inteligente, Objeto de Aprendizagem Multiforme, Rede Quantizada.

ABSTRACT

AN APPROACH TO QUANTIZED NETWORKS AND MULTIFORM OBJECTS FOR DOMAIN MODELING IN INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS

Intelligent Tutoring Systems (ITS) and Adaptive Hypermedia Systems (AHS) have emerged in the educational context in order to provide adaptive environments to the different profiles of students. In current research, there appears to be a trend towards joining these two areas in favour of environments that are more intelligent and more responsive to adaptation than the “classical” ones.

Thus, the main objective of this thesis was to model the domain knowledge of an ITS based on an architecture which considers different educational strategies that include adaptive learning objects. The modeling was discussed in three levels (fine, medium and gross) and the proposed solution involved the use of Quantized Networks in which quantization was performed using the characteristics of the nodes and not the connection between them. For the fine modeling Multiform Learning Objects (MLO) were considered.

The modeling was tested and evaluated by three specialists. Computational simulations were also carried out where the stability of the model was investigated and the learning paths suggested in different situations. The final conclusion was that the proposed model responded well to tests. Further, it offers adequate control for application by pedagogical agents and is sufficiently flexible in absorbing new pedagogical strategies.

***Keywords:** Intelligent Tutoring System, Multiform Learning Object, Quantized Network.*

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	VI
RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
SUMÁRIO.....	X
LISTA DE TABELAS.....	XIII
LISTA DE FIGURAS	XIV
LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES.....	XVI
LISTA DE VARIÁVEIS	XVIII
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 MOTIVAÇÃO E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	1
1.1.1 <i>Tecnologia Educacional.....</i>	<i>1</i>
1.1.2 <i>Evasão nos Cursos de Tecnologia.....</i>	<i>2</i>
1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	6
1.2.1 <i>Objetivo Geral.....</i>	<i>6</i>
1.2.2 <i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>6</i>
1.3 REVISÃO DO ESTADO DA ARTE (HISTÓRICO)	7
1.4 METODOLOGIA	13
1.5 ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	14
2 TEORIAS DE APRENDIZAGEM.....	15
2.1 BEHAVIORISMO	17
2.1.1 <i>Burrhus Frederic Skinner.....</i>	<i>22</i>

2.2	COGNITIVISMO.....	25
2.2.1	<i>David Paul Ausubel</i>	27
3	SISTEMAS Tutores Inteligentes e Sistemas de Hipermídia	
	ADAPTATIVA.....	31
3.1	SISTEMAS MULTIAGENTES.....	32
3.2	ESPAÇOS DE ADAPTAÇÃO E REDES QUANTIZADAS.....	34
3.2.1	<i>Apresentação Adaptativa</i>	35
3.2.2	<i>Navegação Adaptativa e as Redes Quantizadas</i>	36
4	ARQUITETURA DE UM SISTEMA DE TUTORIA INTELIGENTE E	
	ADAPTATIVO E A MODELAGEM DO DOMÍNIO	40
4.1	ARQUITETURA DE UM SISTEMA DE TUTORIA INTELIGENTE E	
	ADAPTATIVO	40
4.2	LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS PARA	
	MODELAGEM DE DOMÍNIO DO STI-OAM	45
4.3	MODELAGEM FINA: OBJETOS DE APRENDIZAGEM MULTIFORMES	47
4.3.1	<i>Objetos de Aprendizagem Multiformes (OAM)</i>	47
4.3.2	<i>OAM de Teoria</i>	52
4.3.3	<i>OAM de Teste</i>	58
4.3.4	<i>OAM de Simulação</i>	60
4.3.5	<i>Avaliação e Confiabilidade de um OAM</i>	62
4.4	MODELAGEM MÉDIA: HEURÍSTICA	69
4.5	MODELAGEM GROSSA: REDES QUANTIZADAS	71
4.5.1	<i>Blocos Coesos e Sistema de Hierarquia de Blocos</i>	73
4.5.2	<i>Avaliação e Confiabilidade</i>	76
4.5.3	<i>Modelagem do Domínio – Quantização das Ligações entre Nós</i>	80
4.5.4	<i>Primeiro Acesso à Rede</i>	84
4.6	TEORIAS DE APRENDIZAGEM E COEFICIENTES DE QUANTIZAÇÃO	84
4.6.1	<i>Rede Behaviorista Quantizada</i>	85
4.6.2	<i>Rede Ausubeliana Quantizada</i>	88
5	VALIDAÇÃO DO MODELO.....	93
5.1	OBJETOS DE APRENDIZAGEM MULTIFORMES	93
5.1.1	<i>Viabilidade Técnica dos OAM's</i>	96
5.2	SIMULAÇÃO DO MODELO DE REDES QUANTIZADAS	100
5.2.1	<i>Simuladores da Modelagem Grossa</i>	100

5.2.2	<i>Simulações em uma Rede Behaviorista.....</i>	<i>103</i>
5.2.3	<i>Simulações em uma Rede Ausubeliana.....</i>	<i>115</i>
5.2.4	<i>Discussão dos Resultados da Simulação Computacional.....</i>	<i>125</i>
5.3	AVALIAÇÃO DE ESPECIALISTAS.....	130
5.3.1	<i>Crítérios para Seleção dos Especialistas.....</i>	<i>131</i>
5.3.2	<i>Metodologia para a Aplicação da Pesquisa.....</i>	<i>133</i>
5.3.3	<i>Análise Crítica do STI-OAM e do Modelo de Domínio Proposto.....</i>	<i>134</i>
5.3.4	<i>Discussão Sobre a Avaliação dos Especialistas.....</i>	<i>141</i>
6	CONCLUSÃO.....	145
6.1	CONTRIBUIÇÕES.....	145
6.2	LIMITAÇÕES.....	150
6.3	TRABALHOS FUTUROS.....	151
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	153
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA A ANÁLISE DE ESPECIALISTAS.....	161
	APÊNDICE B – SUMÁRIO EXECUTIVO DA TECNOLOGIA.....	163

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Dados do componente de adaptação referentes aos quadros-chave e subtemas.....	55
Tabela 4.2	Exemplo da especificação de variáveis de adaptação em um quadro-chave.....	56
Tabela 5.1	Atributos internos do OAM de simulação.....	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Relação entre ingressantes e concluintes em cursos de Engenharia (dados obtidos do MEC/INEP com a grande área Engenharia, produção e construção).....	3
Figura 2.1	Representação esquemática do procedimento cirúrgico para o experimento do condicionamento clássico de Pavlov para salivação canina .	19
Figura 2.2	Representação esquemática da caixa de Skinner.	23
Figura 2.3	Porcentagem de artigos publicados em renomados periódicos americanos de psicologia classificados segundo a metodologia de Robins <i>et al.</i> (1999). ...	26
Figura 3.1	Arquitetura tradicional de um STI (baseado em Nwana, 1990).	32
Figura 3.2	Relação entre Sistemas educacionais inteligentes e sistemas educacionais adaptativos (baseado em Brusilovsky & Peylo, 2003).....	34
Figura 3.3	Redes quantizadas.	37
Figura 3.4	Operações de fecho.	38
Figura 4.1	Arquitetura do STI proposto.	43
Figura 4.2	Esquemas conceituais de arquiteturas STI, SHA e STI-OAM.	49
Figura 4.3	Estrutura de um OAM de teoria.	53
Figura 4.4	Estrutura de subtemas em teorias de aprendizagem diferentes.....	55
Figura 4.5	Estruturas de subtemas e quadros-chave de um OAM de teoria para duas abordagens didáticas distintas.....	57
Figura 4.6	Estrutura de um OAM de teste.....	59
Figura 4.7	Estrutura de um OAM de simulação.....	61
Figura 4.8	Gráfico da variação do coeficiente de avaliação indireta em relação à posição do OAM.	64
Figura 4.9	Gráfico da variação do coeficiente de avaliação indireta em relação à posição do OAM.	65
Figura 4.10	Arquitetura de um nodo da rede.....	70
Figura 4.11	Análise de uma rede unidimensional de baixa complexidade.	73
Figura 4.12	Variação da avaliação devido ao tempo de acesso.....	79
Figura 4.13	Análise da rede como um problema tridimensional.....	81
Figura 4.14	O nodo atual é deslocado para um nível acima dos demais.	81
Figura 4.15	Alteração de nível dos nodos que estão no mesmo bloco coeso do nodo atual.	81
Figura 4.16	Alteração de nível dos nodos da rede com base na avaliação do nodo atual.	82
Figura 4.17	Redução proporcional do nível dos nodos segundo avaliação registrada. ...	82
Figura 4.18	Fazer o cálculo da distância dos nodos da rede e, assim, quantizando suas ligações.	83
Figura 4.19	Rede ausubeliana organizada.	89
Figura 5.1	Telas de um objeto de aprendizagem de teoria.	94
Figura 5.2	Telas de um objeto de aprendizagem de teste.....	95
Figura 5.3	Arquitetura do simulador de interação entre o STI-OAM e um OAM.	96

Figura 5.4	Telas de um OAM de simulação.....	98
Figura 5.5	Telas do simulador de interação do STI-OAM com um OAM de simulação	99
Figura 5.6	Exemplo de rede behaviorista.....	106
Figura 5.7	Gráficos do percurso do estudante (ordem de acesso <i>versus</i> nodo acessado).....	108
Figura 5.8	Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 10.....	109
Figura 5.9	Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 7.....	111
Figura 5.10	Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 10 e análise de blocos coesos	112
Figura 5.11	Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 7 e análise de blocos coesos.....	114
Figura 5.12	Simulações de navegação adaptativa com alta influência de blocos coesos	115
Figura 5.13	Exemplo de rede ausubeliana.	116
Figura 5.14	Exemplo de rede ausubeliana organizada.....	117
Figura 5.15	Gráficos do percurso do estudante (ordem de acesso <i>versus</i> nodo acessado).....	118
Figura 5.16	Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 10.....	119
Figura 5.17	Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 7.....	121
Figura 5.18	Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 10 e análise de blocos coesos.....	122
Figura 5.19	Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 7 e análise de blocos coesos.....	123
Figura 5.20	Simulações de navegação adaptativa para alta influência de blocos coesos	125
Figura 5.21	Ordem de acesso no fluxo normal de duas redes.	126
Figura 5.22	Verificação do padrão dos coeficientes angulares do percurso em redes behavioristas com baixa influência de blocos coesos.	126
Figura 5.23	Acesso a nodo com potencial falha no processo avaliativo.....	127
Figura 5.24	Navegação em direção aos blocos coesos principais.	128
Figura 5.25	Dificuldade de acesso a um nodo da rede behaviorista devido a uma falha no gerenciamento da variável de influência de blocos coesos.....	128
Figura 5.26	Análise dos coeficientes angulares em fluxo normal e recuperação na rede ausubeliana de exemplo.	129
Figura 5.27	Recuperação de nota em nodos da rede.....	129
Figura 5.28	Acesso preferencial aos blocos coesos.	130
Figura 6.1	Acesso a nodo com possível falha no processo avaliativo.	147
Figura 6.2	Padrão no acesso em nodos do fluxo normal e inclinações diferentes em processos de recuperação.....	148
Figura 6.3	Recuperação de notas em nodos da rede.	149

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

ADL	<i>Advanced Distributed Learning</i>
AIWBES	<i>Adaptive and intelligent Web-based Educational System</i>
CAI	<i>Computer Assisted Instrution</i>
CF	Classificação de Fragmentos
EA	Explicação Adicional
EAD	Educação a Distância
EC	Explicação Comparativa
ER	Explicação Requerida
EV	Explicação Variante
IA	Inteligência Artificial
IAD	Inteligência Artificial Distribuída
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ITS	<i>Intelligent Tutoring System</i>
LD	<i>Learning Design</i>
LO	<i>Learning Object</i>
LOM	<i>Learning Object Metadata</i>
LMS	<i>Learning Management System</i>
MEC	Ministério da Educação e Cultura
OA	Objeto de Aprendizagem
OAM	Objeto de Aprendizagem Multiforme
POO	Programação Orientada a Objetos
RIVED	Rede Interativa Virtual de Educação
SCORM	<i>Sharable Content Object Reference Model</i>
SWF	Extensão de filmes executáveis gerados no Flash
SHA	Sistema de Hipermedia Adaptativa
SMA	Sistema Multiagente

STI

Sistema Tutor Inteligente

STI-OAM

Sistema Tutor Inteligente aplicado a Objetos de Aprendizagem
Multiformes

LISTA DE VARIÁVEIS

A_i	Avaliação de um OAM i
A_{OM}	Primeira avaliação sugerida para avaliação indireta
C_i	Confiabilidade da avaliação de um nodo ou OAM i
D	Variável de decisão para a rede quantizada
<i>expertise</i>	Avaliação considerada excelente
K_a	Grau de liberdade para variação da avaliação indireta
k_1	Coefficiente de quantização de blocos coesos
k_2	Coefficiente de quantização de direção e expertise
k_3	Coefficiente de quantização de avaliação e confiabilidade
n_a	Número de avaliações realizadas anteriormente
N_a	Nodo atual que representa a principal variável para quantização da rede
N_i	Avaliação de um nodo i
n_j	Número de blocos coesos que contém
p_b	Coefficiente de importância de um bloco coeso
p_{bom}	Coefficiente do percentual de <i>expertise</i> satisfatório
p_e	Percentual para redução da avaliação inicial
$p_{emáx}$	Percentual máximo para redução da avaliação inicial
P_i	Ponderação de um nodo i
t_m	Tempo mínimo para iniciar o processo de deterioração da avaliação
t_M	Tempo máximo para deterioração da avaliação
v	Incremento dos nodos segundo regras de k_2
v_{ax}	Limite de visibilidade para avaliação indireta

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

1.1.1 Tecnologia Educacional

As discussões concernentes à busca de novas tecnologias na educação são frequentes, seja por motivos ideológicos, por inquietude acadêmica ou por responsabilidade científica. A possibilidade que as novas tecnologias trazem de popularizar o conhecimento é um avanço social e científico que não pode ser descartada pelas Instituições e pelos pensadores modernos. E não está sendo!

Dentre as novas tecnologias educacionais, destaca-se a educação mediada pelo computador, que fornece um nível de interatividade e de autonomia jamais visto na história do ensino e da aprendizagem. Contudo, devido ao grande custo em se criar objetos de aprendizagem interativos, muitas Instituições não exploram bem o aspecto da interatividade. Os Objetos de Aprendizagem (OA) ou *Learning Objects* (LO) podem ser definidos de uma forma bastante generalizada como qualquer recurso, digital ou não, que pode ser usado, reusado ou referenciado durante a aprendizagem suportada pela tecnologia (Wiley, 2000).

Por outro lado, observa-se a necessidade de discutir o aspecto psicopedagógico de expor um universo de estudantes em níveis de conhecimento e perfis cognitivos diversos a um mesmo material de aprendizagem. Surge, então, a idéia de se construir Sistemas de Tutoria Inteligentes (STI) e Sistemas de Hipermedia Adaptativos (SHA) voltados aos ambientes educacionais. Enquanto os STI's se ocupam da confecção de sistemas que atuam na seleção de material de acordo com o perfil do aprendiz, um SHA trabalha os conceitos referentes à construção de hiperdocumentos para apresentação e navegação que se adaptem às necessidades do usuário.

Existem vários estudos em STI e SHA com diferentes métodos e técnicas, contudo, em pesquisas recentes observou-se a necessidade de incluir as duas linhas de estudo em um mesmo projeto de sistemas educacionais, o que resultou nos Sistemas Educacionais Inteligentes e Adaptativos baseados na Web ou *Adaptive and intelligent Web-based Educational Systems* (AIWBES). Brusilovsky e Peylo (2003) destacam que a interação entre as essas duas áreas é um tema prolífico e deve ser naturalmente a tendência das pesquisas de tecnologia educacional para web dos próximos anos.

Mesmo havendo muito recentemente uma coalizão entre as duas áreas, o que se observa claramente é que os avanços estão mais voltados para o campo técnico do que no âmbito da aprendizagem. Não se verifica nos projetos publicados de STI e SHA, a inclusão de estudos elaborados a respeito dos objetos de aprendizagem, mais especificamente os objetos de aprendizagem interativos, como o caso de animações interativas e simuladores.

De outro ponto de vista, ao se analisar os artigos sobre os objetos de aprendizagem desenvolvidos por professores-autores e equipes, observa-se que o tema tem evoluído bem nos últimos anos e um dos elementos mais difíceis e dispendiosos é a criação de agentes inteligentes introduzidos nos objetos com o intuito de auxiliar os estudantes no acompanhamento da teoria ou na solução de um determinado problema ou simulação. Para cada tópico é criado um agente específico e, certamente, com capacidade extremamente reduzida.

Desse modo, observa-se que os estudos em STI, SHA e OA estão bastante avançados, contudo, não há uma união entre essas três áreas.

1.1.2 Evasão nos Cursos de Tecnologia

Outra questão a ser levantada é em relação à importância do STI proposto nesta tese e se os professores-autores serão estimulados a utilizar a tecnologia desenvolvida. Normalmente, os STI's atuam na escolha de pacotes de objetos de aprendizagem e, para isso, é necessária a produção de vários objetos. Esse é um fator que não estimula a utilização dos STI's por parte de autores de conteúdo.

Por outro lado, os professores que atuam na educação a distância são mais adeptos do uso de recursos da tecnologia educacional do que professores do ensino presencial. Contudo, isso pode corroborar com a evasão existente nos cursos superiores, em especial, nos cursos de Engenharia. Nesse sentido, seria uma boa medida se a arquitetura de um STI contemplasse elementos facilitadores de autoria de recursos educacionais.

Em relação à evasão citada, existe uma mobilização de Órgãos Governamentais e de várias Instituições de Ensino Superior no sentido de despertar o interesse pelas Ciências Tecnológicas nos alunos de Ensino Médio e até mesmo nos alunos que já ingressaram em cursos de Engenharia. Essa preocupação pode ser verificada através da Chamada Pública MCT/FINEP/FNDCT – PROMOVE – Engenharia no Ensino Médio 05/2006. Nesse edital, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), por intermédio da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), selecionou propostas para apoio financeiro a projetos inovadores que promovam maior interação das Escolas de Engenharia com as atividades de ensino de ciências exatas e naturais de nível médio, visando a despertar vocações e recrutar mais e melhores estudantes (Promove, 2006).

Concomitantemente ao problema citado, há o desinteresse de boa parte dos alunos de Engenharia pelo curso e que pode ser notado pelo baixo percentual de concluintes. Analisando as informações do Sistema de Estatísticas Educacionais (Edudatabrasil) do Ministério da Educação e Cultura, é possível observar uma forte discrepância entre a média de ingressantes e a de concluintes dos cursos de Engenharia no Brasil (figura 1.1).

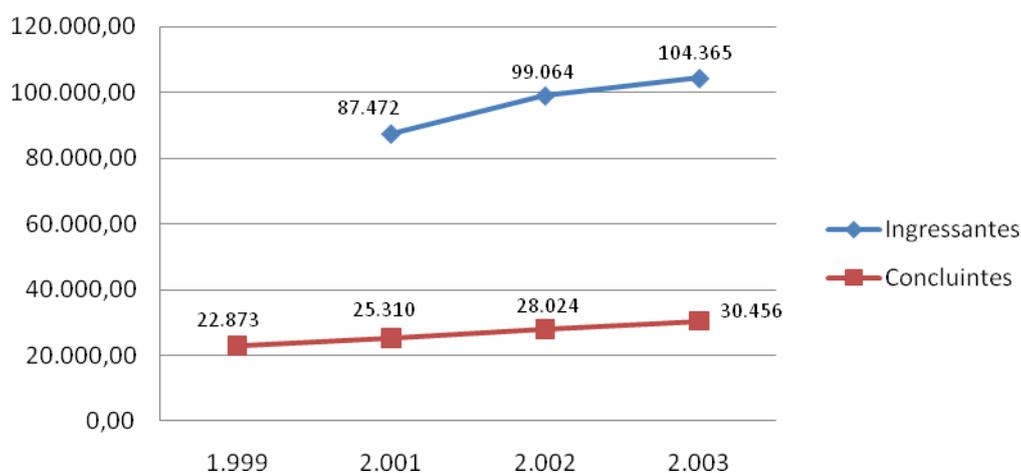


Figura 1.1 Relação entre ingressantes e concluintes em cursos de Engenharia (dados obtidos do MEC/INEP com a grande área Engenharia, produção e construção).

Existem vários fatores que atuam no desinteresse dos alunos: a diversidade das habilitações, os aspectos regionais e de mercado, a ambientação e o nível dos alunos, bem como também as características peculiares das universidades (Perecmanis, 2002). Além disso, o alto índice de reprovação é um dos fatores que provoca uma grande desmotivação entre os alunos.

Em pesquisa realizada por Silva (2002), dados de uma turma que ingressou no 1º semestre de 2002 indicaram que 90% dos alunos foram reprovados em pelo menos uma disciplina. Desses, 20% dos alunos foram reprovados em todas as disciplinas.

Em estudo realizado no Curso de Engenharia Química da Universidade Federal Fluminense, verificou-se que 60 a 70% dos alunos matriculados estão no ciclo básico, isto é, apenas 30% a 40% conseguem chegar ao ciclo profissional (Silva, 2003).

Dentre os fatores que potencializam a evasão, existe um problema evidente nos cursos de Engenharia: o desnível entre os alunos. Este fator é mais crítico em determinados cursos, onde muitos alunos trabalham e outros há que optam em retornar aos estudos após certo tempo de latência acadêmica.

O desnível entre os alunos faz com que o professor tenha que se preocupar em atingir um ponto de equilíbrio entre o mínimo e o razoável a ser ensinado. Poucos se aventuram a discutir assuntos mais elaborados e, intelectualmente, mais desafiadores, pelo fato de causar repulsa a boa parte da turma. Esse quadro torna frustrante o papel do educador que retribui com aulas clássicas e monótonas para um grupo de alunos que vive o dinamismo da tecnologia e da internet.

Independente da existência do desnível entre os alunos, os professores geralmente não utilizam as novas tecnologias de informação, em especial, os objetos de aprendizagem, como ferramentas de suporte ao ensino presencial. A preocupação do Ministério da Educação e Cultura (MEC) em promover a cultura de uso e construção deste tipo de material de apoio, levou à construção da Rede Interativa Virtual de Educação (RIVED), um repositório de objetos de aprendizagem de livre acesso onde são encontrados objetos nas áreas básicas de Ensino Médio e de cursos de graduação.

Portanto, é necessário construir Sistemas Educacionais que promovam uma aprendizagem adaptativa, contudo, é também essencial que os professores sejam estimulados a fazer parte desse processo de construção de material digital que alimentam tais sistemas.

Um último apelo sobre a necessidade de buscar formas para estimular os jovens pelas áreas tecnológicas e por uma educação adaptativa para os estudantes de Engenharia é acerca da importância desse profissional para o desenvolvimento tecnológico do Brasil. O Índice FIES de Competitividade das Nações e Agenda de Competitividade para o Brasil, realizado em 2009, considera a formação de engenheiros como um fator importante para o cálculo do índice de competitividade de um país. Esse estudo comenta que enquanto na China, em 2005, foram formados 600 mil engenheiros (o que corresponde a 4,6 a cada 10 mil habitantes), no Brasil, apenas 30 mil (1,6 a cada 10 mil habitantes).

1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta tese é o desenvolvimento de uma modelagem do domínio de conhecimento para um Sistema Tutor Inteligente e Adaptativo de caráter multipedagógico e que trabalhe com Objetos de Aprendizagem Multiformes em um repositório de cursos on-line.

1.2.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos desta proposta:

- Desenvolver a arquitetura de um Sistema de Tutoria Inteligente Adaptativo aplicado no contexto educacional que trabalhe com objetos de aprendizagem multiformes e com diferentes estratégias de ensino;
- Construir a modelagem do domínio de conhecimento para o STI idealizado, identificando características e apresentando soluções em três níveis da modelagem: fina, média e grossa;
- Desenvolver uma arquitetura para objetos de aprendizagem adaptativos com caráter multipedagógico e que forneçam a possibilidade de intervenção dos agentes pedagógicos do STI em qualquer momento da execução;
- Verificar a possibilidade de utilização da teoria conhecida como redes quantizadas na modelagem grossa do domínio de conhecimento caracterizando a rede para diferentes teorias de aprendizagem;
- Estudar a viabilidade de construção dos Objetos de Aprendizagem Multiformes;
- Construir simuladores para a modelagem grossa do domínio.

1.3 REVISÃO DO ESTADO DA ARTE (HISTÓRICO)

Para realizar uma análise histórica sobre os elementos de inovação que surgiram ao longo dos tempos e que são concernentes ao escopo desta tese, é necessário ter em mente que este trabalho envolve campos do conhecimento que, por algum tempo, se desenvolveram de forma paralela e que só em momento recente estão se unindo em favor da educação.

Os primeiros passos em direção ao aprendizado mediado por computador foram os sistemas chamados de Instrução Assistida por Computador ou *Computer Assisted Instruction* (CAI). Os CAI tiveram seu início no final da década de 1950 e são baseados no Behaviorismo, em que a instrução é feita pela apresentação linear e gradativa dividida em diversos módulos de aprendizagem, ou seja, a aprendizagem é modelada a partir de estímulos previamente planejados (Viccari & Giraffa, 2003). A apresentação do conteúdo ao usuário é feita de maneira linear e em um formato pré-definido, de modo que nenhum fator influa sobre a forma de exibição. Essa técnica é chamada de programação linear.

O Behaviorismo será discutido em momento futuro, contudo, é possível afirmar com certo grau de generalidade que essa teoria de aprendizagem é baseada em uma relação direta entre estímulos e respostas, onde um mesmo estímulo evoca uma resposta específica. Desse modo, é possível induzir uma determinada resposta caso haja um reforço associado.

Nos primeiros CAI, a idéia do reforço fazia-se presente e o percurso do aluno dentro do módulo a ser ensinado era planejado de modo a não permitir que o aluno cometesse erros, já que o próprio erro era por si só um reforço que aumentava a relação entre o estímulo e a resposta.

No início da década de 1960, as respostas dos alunos começaram a ser utilizadas para controle do conteúdo a ser apresentado, criando a programação ramificada ou em árvore. Ao final da década de 1960 e princípio da década de 1970, surgiram os sistemas gerativos, ou sistemas adaptativos, que trabalhavam sob uma nova filosofia educacional em um contexto onde o aluno não é visto como um receptor de informação. O momento histórico coincide com o declínio do Behaviorismo na educação e a ascensão do cognitivismo, em

que os alunos são submetidos a situações com um grau de dificuldade adequado. Além disso, surge a necessidade de adaptar o ensino às necessidades do estudante.

Os sistemas gerativos são capazes de apresentar o conteúdo de acordo com ao nível de conhecimento do aluno, contudo, ainda mantém algumas características dos CAI iniciais, tais como: cursos muito extensos, falta de definição da comunicação entre o tutor e o aluno, pouca adaptação quanto às necessidades do aluno, o sistema não evolui com o tempo e a arquitetura do sistema é construída sob medida.

Outro avanço substancial em relação aos CAI anteriores foi a geração do material de ensino feito pelo próprio sistema educacional. Essa confecção do material era possível apenas em algumas áreas do conhecimento, tais como aritmética, em que se modificavam as condições iniciais de um problema resultando em um novo problema. O mesmo tipo de técnica é utilizado em alguns objetos de aprendizagem atuais tornando o conteúdo reutilizável por um mesmo usuário em um mesmo contexto educacional (Fragelli, 2005).

Nas décadas de 1960 e 1970, mesmo com os rápidos avanços de ordem computacional, a IA não se desenvolveu na mesma proporção. Contudo, a partir de 1980, a pesquisa em IA foi estimulada pelos trabalhos no campo da psicologia cognitiva, que teve início como uma contraposição aos conceitos defendidos pelo Behaviorismo.

Como os CAI não se adaptavam ao perfil do usuário, surgiram naturalmente na década de 1970 os *Intelligent Computer Assisted Instruction* (ICAI). O objetivo era desenvolver sistemas computacionais baseados em técnicas da inteligência artificial e da psicologia cognitiva de modo a transferir o dinamismo da sala de aula para o mundo digital.

Em 1982, Sleeman e Brown revisaram o estado da arte dos sistemas CAI e criaram o termo Sistemas Tutores Inteligentes (STI) ou *Intelligent Tutoring Systems* (ITS) para descrever os ICAI e diferenciá-los dos CAI. Os STI são baseados na idéia principal de que o aluno é parte atuante do processo educacional e situações desafiadoras devem ser utilizadas de modo a promover uma aprendizagem mais efetiva e abrangente.

Um STI utiliza as técnicas de inteligência artificial de modo a proporcionar um ambiente de aprendizagem que leve em consideração os diversos estilos cognitivos dos alunos

(Rissoli & Giraffa, 2006). Para isso, um STI deve modelar o perfil cognitivo do aprendiz por meio direto, com uso de questionários, ou indireto, pela análise do comportamento do estudante em interação com o ambiente, e atuar na seleção e apresentação do material de aprendizagem de acordo com as características do estudante. A forma de selecionar e apresentar o material depende das estratégias de ensino que são utilizadas na concepção do sistema tutor.

Além da característica de tornar o ambiente de aprendizagem propício a uma aprendizagem mais eficiente e idiossincrática para o estudante, um STI deve também aprender com sua interação com o usuário e reavaliar suas estratégias de avaliação e de ensino de maneira coerente e dinâmica.

A arquitetura dos primeiros STI's é conhecida como arquitetura clássica e é baseada em quatro módulos interrelacionados: modelo do domínio de conhecimento, modelo do aluno, modelo pedagógico e modelo de interface.

Nas últimas décadas, a arquitetura clássica abriu espaço para a arquitetura baseada em agentes, originária da crescente pesquisa em Sistemas Multiagentes (SMA), sub-área da Inteligência Artificial Distribuída (IAD). Tais sistemas são compostos por múltiplos agentes que exibem comportamento autônomo, mas, ao mesmo tempo interagem com os outros agentes presentes no sistema.

A utilização de SMA no desenvolvimento de STI, objetiva abranger aspectos que ficaram pendentes na arquitetura clássica tais como modelagem de múltiplas estratégias do aluno e a possibilidade de seleção de múltiplas estratégias pedagógicas

Em paralelo aos STI's, os Sistemas de Hipermedia Adaptativa (SHA) também mantém o foco na adaptação do conteúdo apresentado ao aluno. Contudo, as pesquisas estão mais voltadas aos hiperdocumentos e na modelagem do usuário do que ao sistema de inteligência artificial como um todo.

Sobre a história dos SHA, pode-se dizer que tem seu início na década de 1990, quando surge a Hipermedia Adaptativa (HA), a partir de uma interação das pesquisas em hipermedia e modelagem do usuário. Contudo, somente em 1996 as pesquisas foram

fortalecidas com o "International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-based Systems".

Em 1996, Brusilovsky (1996; 1998) consolida os principais métodos e técnicas da hipermídia adaptativa e classifica o espaço de adaptação como sendo dividida em navegação adaptativa e apresentação adaptativa. Os métodos de apresentação adaptativa são os seguintes: Explicações Adicionais, Explicações de Pré-requisitos, Explicações Comparativas, Variantes de Explicação, e Classificação de Fragmentos de Informação. Sobre as técnicas de apresentação adaptativa, o autor classifica: Texto Condicional, Texto Alongado, Variantes de Fragmento, Variantes de Página, e frames.

Os métodos de navegação adaptativa descritos por Brusilovsky são a Condução Global, a Condução Local, o Suporte à Orientação Local e o Suporte à Orientação Global. Finalizando a teoria sobre os espaços de adaptação, as técnicas registradas concernentes à navegação adaptativa são: Orientação Direta, Classificação adaptativa, Ocultação de *Links*, Anotação de *Links*, e Adaptação de Mapas.

As técnicas e os métodos descritos nos trabalhos de Brusilovsky, bem como a forma de classificação sugerida, são largamente utilizados nas pesquisas em hipermídia adaptativa e tais conceitos foram ratificados por Palazzo (2000).

Os SHA são sistemas que envolvem o projeto e a apresentação das hipermídias adaptativas. Incluem a apresentação e a navegação adaptativas que são modificadas de acordo com a análise das necessidades e preferências do usuário. Além dos sistemas de hipermídia adaptativa, De Bra (1999) caracteriza outros sistemas de hipermídia de relevância que podem ser verificados na última década, tais como os sistemas de hipermídia adaptáveis e os sistemas de hipermídia dinâmico. Nos sistemas de hipermídia adaptáveis, a hipermídia é escolhida de acordo com o perfil do usuário, enquanto que nos sistemas de hipermídia dinâmicos, a informação é gerada pelo próprio sistema e modificada dinamicamente em escala atômica.

Existem vários trabalhos que envolvem o projeto de STI ou SHA e alguns sistemas recentes serão descritos a seguir, bem como suas principais características. Inicialmente serão considerados os primeiros SHA's a serem disponibilizados na Web, segundo Henze

(2000), que foram os sistemas Elm-Art, Elm-Art II e InterBook. Em seguida, serão descritos sistemas educacionais mais recentes.

O sistema Elm-Art (Brusilovsky, Schwarz & Weber, 1996) gera uma árvore de conceitos relacionados por seus pré-requisitos e efeitos. O sistema utiliza ainda um sistema de cores, baseado na metáfora da luz de tráfego, que indica se o SHA considera que o aluno está ou não preparado para acessar um determinado conceito (Garcindo, 2002).

No Elm-Art II (Weber, 1997), há uma melhora na representação do conhecimento em relação ao Elm-Art original, fazendo a criação de uma malha hierárquica de lições, seções, subseções e páginas terminais. O sistema faz inferências sobre o conhecimento do usuário baseado nos conceitos registrados em um modelo conceitual.

O Interbook (Brusilovsky, Schwarz & Weber, 1996) é uma ferramenta que facilita a criação de livros eletrônicos adaptativos e que transforma livros eletrônicos em livros adaptativos. Consiste em considerar a hierarquia entre conceitos, pré-requisitos e resultados. Também utiliza a metáfora da luz de tráfego.

O projeto Tapejara (Pereira *et al.*, 2000) é um sistema inteligente de ensino que utiliza encontros presenciais para definir o estilo cognitivo dos aprendizes.

No sistema SEMEAI (Sistema Multiagente de Ensino e Aprendizagem na Internet) (Geyer *et al.*, 2001) são utilizadas estratégias pedagógicas determinadas segundo o perfil de cada estudante, contudo, tais estratégias não são reavaliadas durante o processo educacional.

No projeto JADE (Java Agent Framework for Distance learning Environments)(Silveira, 2001), verifica-se uma mudança na arquitetura tradicional, incluindo as teorias da inteligência artificial distribuída. É feita uma arquitetura multiagente, bem comum nos projetos atuais, onde são utilizados três agentes: aluno, tutor e domínio. No JADE, as estratégias pedagógicas são feitas apenas ao nível do conteúdo, não havendo integração entre o perfil do aluno e o modelo de ensino.

O AdaptWeb (Ambiente de Ensino-Aprendizagem Adaptativo na Web) (Gasparini *et al.*, 2009) é um sistema de hipermídia adaptativa em que se preocupa também com uma

ferramenta de autoria adaptativa, levando em consideração as necessidades do autor do conteúdo educacional. Há a possibilidade de navegação tutorada ou não, o que permite relacionar esse trabalho com as preocupações da teoria humanista de Rogers, em que é preciso criar meios para a aprendizagem significativa.

As pesquisas recentes em STI são bastante voltadas para a modelagem do usuário. Como exemplo, pode ser citada Adriana Cocco (2004), que defende em sua tese de doutorado a necessidade de incluir os estilos de aprendizagem como modelo de adaptação de ensino. O estilo de aprendizagem representa a forma individualizada de concentração, processamento e retenção da informação feita por cada aprendiz. Nesse trabalho, alguns métodos para descrever os estilos de aprendizagem são levantados, contudo, merece destaque o modelo de Kolb, que é utilizado no agente de modelagem do usuário.

Enquanto que os STI's se ocupam da confecção de sistemas que atuam na seleção de material de acordo com o perfil do aprendiz, um SHA trabalha os conceitos referentes à construção de hiperdocumentos para apresentação e navegação que se adaptem às necessidades do usuário.

Conforme comentado anteriormente, apesar de existirem vários estudos em STI's e SHA's com diferentes métodos e técnicas, somente em pesquisas recentes observou-se a necessidade de incluir as duas linhas de estudo em um mesmo projeto de sistemas educacionais, o que resultou nos Sistemas Educacionais Inteligentes e Adaptativos baseados na Web ou *Adaptive and intelligent Web-based Educational Systems* (AIWBES). Nesse caminho de união, Brusilovsky e Peylo (2003) destacam que essa deve ser a tendência das pesquisas de tecnologia educacional para web dos próximos anos.

Mesmo havendo muito recentemente uma aproximação entre essas duas áreas, o que se observa é que os avanços não seguem em direção às pesquisas referentes aos objetos de aprendizagem. Não se verifica nos projetos publicados de STI's e SHA's, a inclusão de estudos elaborados a respeito dos objetos de aprendizagem, mais especificamente os objetos de aprendizagem interativos, como o caso de animações interativas e simuladores. Também se verifica apenas o uso de um agente pedagógico nos sistemas educacionais estudados e, em muitos casos, sem a explicitação da teoria de aprendizagem utilizada.

Desse modo, observa-se que os estudos em STI, SHA e OA estão bastante avançados, contudo, somente nos últimos tempos houve uma aproximação dessas áreas. É nesse espaço vazio de pesquisa que foram investidos os esforços deste projeto.

1.4 METODOLOGIA

Inicialmente, a metodologia envolveu uma revisão bibliográfica sobre a educação a distância e sua importância dentro da Engenharia, dando ênfase especial à educação a distância por meio da internet. Também foram estudadas as teorias de aprendizagem, onde foi realizado um estudo especial sobre o Behaviorismo de Burrhus Frederic Skinner e a aprendizagem significativa de David Paul Ausubel que foram também escolhidas para composição da modelagem do domínio de conhecimento.

Em seguida, foi feita uma revisão do estado da arte referente aos Sistemas Tutores Inteligentes (STI) e Sistemas de Hipermídia Adaptativa (SHA) aplicados a sistemas educacionais, sendo realizado por meio do estudo de artigos científicos publicados em revistas indexadas e teses na área.

Após a realização dessa etapa de investigação, foram discutidas as características necessárias para o STI e idealizada sua arquitetura. Com a concepção desse sistema que foi denominado de Sistema de Tutoria Inteligente aplicado a Objetos de Aprendizagem Multiformes (STI-OAM), todos os esforços do trabalho se concentraram na modelagem do domínio de conhecimento.

Foram então estudadas as características necessárias para essa modelagem em três níveis: fina, média e grossa. Para cada um desses níveis, foi estudada uma solução sendo que para a modelagem fina foram trabalhados os Objetos de Aprendizagem Multiformes (OAM) e, para a modelagem grossa, foi estudada a possibilidade de adaptar a teoria conhecida como redes quantizadas.

Por fim, optou-se em fazer uma validação híbrida, ou seja, com uso de simulações computacionais para verificar a estabilidade e desempenho do modelo desenvolvido e uma análise de especialistas para discussão de questões teóricas e verificação de casos singulares.

1.5 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Esta tese está organizada em seis capítulos. No capítulo 2 são tratados os conceitos das principais teorias de aprendizagem, dando ênfase às teorias diretamente utilizadas como referencial teórico para modelagem do domínio do sistema educacional inteligente proposto nesta tese.

No capítulo 3 tem-se um novo debate sobre os Sistemas Tutores Inteligentes aplicados a ambientes educacionais e os Sistemas de Hiperfídia Adaptativa, em seguimento à revisão do estado da arte realizado no capítulo 1. Nesse mesmo capítulo, são realizados estudos sobre os espaços de adaptação e, na navegação adaptativa, é apresentada a teoria das redes quantizadas e operações de fecho como elemento de adaptação proativa. Tal teoria foi base para a construção da modelagem grossa do domínio, onde foi feita uma abordagem bastante diferente da original de modo que pudesse ser utilizada em um contexto de cursos distribuídos pela internet.

No capítulo 4 é feito o desenvolvimento do trabalho em que são discutidas as características principais da modelagem e, com base nelas, é construído um modelo de domínio em três níveis: fina, média e grossa.

No capítulo 5 é feita uma validação do modelo com base em objetos produzidos, resultados obtidos por simulação numérica e em uma análise de especialistas. No último capítulo são feitas as conclusões do trabalho abordando as principais contribuições, suas limitações e considerações para pesquisas futuras.

2 TEORIAS DE APRENDIZAGEM

O estudo das teorias de aprendizagem é fundamental para todos os profissionais da área de ensino e aprendizagem e, no caso específico deste trabalho, serviram como aporte teórico para a construção da arquitetura do sistema de tutoria inteligente e adaptativa e nas modelagens fina e média do domínio.

Primeiramente será feita uma abordagem geral das teorias enfatizando as teorias behavioristas e cognitivistas e, em cada uma dessas linhas teóricas, serão abordados em maior profundidade o Behaviorismo de Burrhus Frederic Skinner e a aprendizagem significativa de David Paul Ausubel. Esse foco nos trabalhos de Skinner e Ausubel será realizado, pois foram utilizados na arquitetura do sistema de tutoria inteligente e na modelagem de domínio.

As teorias de aprendizagem são tentativas de interpretar sistematicamente, de organizar e de fazer previsões sobre os conhecimentos relativos à aprendizagem (Moreira, 1999). Segundo Hill, representa o ponto de vista sobre a abordagem de assuntos concernentes à aprendizagem e a especificação de quais são as variáveis independentes, dependentes e intervenientes que possuem relevância acadêmica (Hill, 1990).

Contudo, para definir o que é uma teoria de aprendizagem, é preciso conceituar aprendizagem. Mas, tampouco o termo aprendizagem é ponto de comunhão entre os cientistas da área. Para alguns, aprendizagem é a aquisição de informação ou de habilidades e, para outros, aprendizagem é a mudança do comportamento devido à experiência.

Alguns autores fazem uso de construtos particulares para facilitar a compreensão do termo ou para transmitir com mais exatidão suas teorias, tais como: aprendizagem significativa, aprendizagem significante e aprendizagem por descoberta.

Segundo Moreira (1999), as teorias de aprendizagem podem ser basicamente classificadas em três categorias: as teorias behavioristas, as cognitivistas e as humanistas. Contudo, algumas teorias podem agrupar características peculiares a mais de uma filosofia como, por exemplo, o modelo proposto nesta tese.

Neste trabalho serão apresentadas as teorias behavioristas e cognitivistas mas, antes de entendê-las e observar os pontos positivos de cada uma é preciso desprender-se das idéias pré-concebidas e, nesse sentido, uma boa visão tecnológica pode ajudar. Para um leitor com espírito prático e em contato com as novas tecnologias de informação, é possível notar aplicações imediatas das teorias de aprendizagem que não exclusivamente no uso em sala de aula. As aplicações vão desde a criação de robôs com inteligência artificial até o uso em agentes virtuais para o ensino mediado pelo computador.

Outro ponto a ser levantado ao se analisar as teorias apresentadas neste trabalho são as melhorias e inovações naturais e, quase sempre graduais, que surgem através dos tempos. Portanto, uma teoria em qualquer área do conhecimento que é construída baseando-se em certas observações e reflexões, possivelmente sofrerá modificações, ou até mesmo se extinguirá, com novas observações e reflexões. Pode ocorrer também que, com o tempo, as teorias tenham uma redução em sua gama de aplicações ou em relação aos fenômenos que pretende explicar, como no caso das leis de Newton para a Mecânica que não são aplicáveis para corpos com velocidades próximas à da luz.

Este intróito sobre o olhar científico necessário para o estudo das teorias de aprendizagem se faz necessário em favor de um debate mais produtivo, como atualmente se percebe em pesquisadores que se mostram mais interessados em estratégias de aprendizagem que podem envolver uma combinação de teorias e que dependem das características do curso e do público-alvo.

Em uma pesquisa feita por Wolfoolk *et al.* (1977) em uma Universidade norte-americana, verificou-se claramente a existência de conceitos pré-concebidos em relação ao Behaviorismo. Nessa pesquisa, um vídeo em que aparecia uma professora usando técnicas de modificação de comportamento com alunos de educação especial foi apresentado a dois grupos de estudantes de pedagogia. Para o primeiro grupo, foi informado que a professora

estava utilizando técnicas de modificação de comportamento. Para o segundo, a informação dada era que o vídeo trazia exemplos de educação humanística. Após o vídeo, foi feita uma avaliação por parte dos alunos e o segundo grupo, que fora informado que o vídeo trazia exemplos de educação humanística, avaliou muito mais favoravelmente a professora e consideraram o método capaz de promover tanto a aprendizagem formal quanto o crescimento emocional do aprendiz.

Portanto, antes de descartar ou criticar uma teoria, é necessário entendê-la.

2.1 BEHAVIORISMO

Isaac Newton, um dos maiores cientistas da história da humanidade, a exemplo de outros grandes nomes da ciência, observava os acontecimentos causados pela ação de algum agente externo ou interação de agentes e tentava explicar, a partir destas, o porquê dos acontecimentos. Newton era capaz de olhar dentro de máquinas e ver um esquema complexo de forças, fluxo de energia e trabalho. Ao estudar aparelhos mecânicos, sabia mais do que uma máquina era feita, conhecia os princípios que a faziam funcionar (Berlinski, 2002). Muito antes disso, os humanos atribuíam a diversos deuses as causas dos acontecimentos.

O que é mais natural? O que é mais científico?

O Behaviorismo foi criado para ser um método científico de modo a explicar o comportamento humano e assim o é. Alguns estudiosos do comportamentalismo preferem aplicá-lo apenas em terapias comportamentais, mas claramente há aplicações na educação.

As teorias behavioristas ou comportamentalistas são aquelas que se preocupam fundamentalmente com o comportamento observável e mensurável do indivíduo. A idéia inicial e principal do Behaviorismo está no uso de estímulos e respostas.

O Behaviorismo, termo criado por John B. Watson (considerado o pai do Behaviorismo), rejeita a hipótese de que existe algo além do mundo físico, ou seja, se opõe à psicologia da época que se ocupava em estudar o que as pessoas sentiam e pensavam. O Behaviorismo

estava preocupado em estudar o que as pessoas faziam e que podia ser observado (Moreira, 1999).

O maior objetivo das teorias que seguem essa linha filosófica é encontrar leis que determinam uma relação entre os estímulos e as respostas. Naturalmente, surgiram outras variáveis de acordo com a evolução das teorias.

O Behaviorismo de Watson, também conhecido como Behaviorismo clássico ou metodológico, foi bastante influenciado pelo condicionamento clássico de Ivan P. Pavlov, o que talvez explique o início do preconceito, pelo menos entre alguns pais e educadores, em relação às teorias behavioristas.

Pavlov, que tentava terminar um estudo sobre fisiologia da digestão, recebeu Prêmio Nobel de Medicina pela descoberta do reflexo condicionado, um subproduto acidental de sua pesquisa original (Anderson, 2005; Catania, 1999).

Como parte de sua pesquisa, o cientista colocou pó de carne na boca de um cão com fins de mensurar a salivação produzida. Contudo, após algumas sessões, a mensuração se tornava impossível, pois, os cães começavam a salivar ao detectar a presença dos cientistas que conduziam o experimento. Ou seja, os cães relacionavam a presença do condutor do experimento com a possibilidade de receber o alimento. Pavlov iniciou uma série de experimentos especificamente para estudar esse fenômeno que é conhecido como condicionamento clássico (Anderson, 2005; Catania, 1999).

A metodologia utilizada baseia-se em estímulos e respostas. Inicialmente, são estudados estímulos e respostas não-condicionadas. No caso dos cães, o estímulo não-condicionado é o alimento, e, a resposta não-condicionada é a salivação. O estímulo não-condicionado é emparelhado com um estímulo-condicionado. Nesse caso, uma campainha. Após uma série de pareamentos, isto é, aplicando concomitantemente os dois estímulos, é possível evocar uma resposta condicionada aplicando apenas o estímulo condicionado. Ou seja, é possível fazer o cão salivar tocando apenas a campainha (Anderson, 2005).

Em termos práticos e sem o uso de vernáculos, coloca-se comida para um cão e verifica-se a salivação. Depois, junto com a comida, é tocada uma campainha. Esse emparelhamento é repetido diversas vezes. Depois, toca-se apenas a campainha e o cão saliva.

A descoberta do condicionamento clássico foi muito importante para a psicologia bem como os métodos experimentais desenvolvidos. Mas, onde está a repulsa de alguns quanto ao método?

O problema é que Pavlov confinava os cães dentro de caixas de acrílico, fazia cavidades em suas faces para facilitar a observação da salivação e os cães eram sacrificados após os experimentos para que fosse feito um estudo cerebral. Muitos artigos e reportagens foram pesadamente contra os métodos de Pavlov.

O procedimento cirúrgico para visualização da resposta de salivação consistia em fazer uma cavidade na lateral da face do animal e inserir um coletor da saliva produzida pela glândula salivar (figura 2.1).

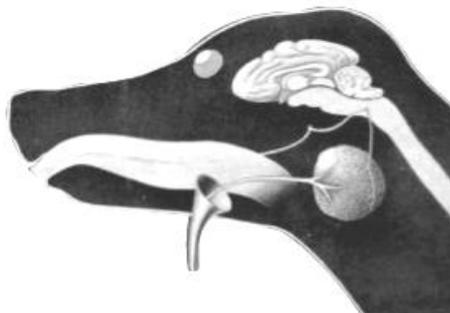


Figura 2.1 Representação esquemática do procedimento cirúrgico para o experimento do condicionamento clássico de Pavlov para salivação canina ¹.

Os experimentos de condicionamento feitos por Ivan Pavlov foram além de estudos de salivação de cães. O condicionamento do piscar de olhos em humanos foi estudado por Pavlov e foi bastante usado em pesquisas por outros cientistas da época (atualmente, a maior parte das pesquisas de condicionamento clássico é feita com animais). Inicialmente, uma luz (ou um sinal sonoro) é emparelhada com um sopro de ar e, após uma série de

¹ Science, civilization and society – Pavlov’s dog experiment
<http://www.es.flinders.edu.au/~mattom/science+society/lectures/illustrations/lecture30/pavlovdog.html>.
Acessado em 23/02/2007.

experimentos, o piscar de olhos é evocado pela luz (ou pelo sinal sonoro) (Anderson, 2005).

Pavlov fez estudos acerca da aquisição e da extinção do condicionamento, dentre muitos outros fenômenos básicos relacionados ao processo. A aquisição é uma entidade que representa a magnitude da resposta condicionada em relação ao número de ensaios. Verificou-se que a resposta condicionada não se apresenta de súbito, ela cresce gradualmente com o número de repetições. A extinção representa que a resposta condicionada diminui quando o estímulo não condicionado não é mais apresentado (Anderson, 2005; Catania, 1999; Moreira, 1999).

Os experimentos de Pavlov foram ao encontro às convicções behavioristas de Watson que conseguiu replicar a linha de investigação do condicionamento clássico em uma experiência de condicionamento emocional realizada em um bebê de 11 meses. O bebê ficou famoso dentro da psicologia, o pequeno Albert, e com a experiência desenvolvida, Watson e Rayner mostraram que as emoções podem ser facilmente condicionadas (Gonçalves, 2007; Watson & Rayner, 1920; Wier, 2007; Wiley, 2000).

As questões éticas com esse caso são diversas e muito sérias como, por exemplo, o fato de utilizar uma pessoa sem consciência do experimento e a própria mãe de Albert não havia sido informada dos ensaios realizados (Wiley, 2000).

O experimento consistiu no pareamento de dois estímulos: a apresentação de um rato branco para a criança e outro era um som alto e amedrontador emitido pela colisão de um martelo em uma barra metálica. Inicialmente, o rato não provocava qualquer reação de repulsa por parte da criança. Após uma semana de experimentos de pareamento da apresentação do rato com o barulho assustador feito pelo martelo, Albert se afastava e choramingava na presença do rato branco. Os testes seguintes mostraram que o medo condicionado foi generalizado a outros estímulos neutros, tais como: cães, coelhos, macacos, casacos de pele e até uma máscara do papai Noel (Gonçalves, 2007; Watson & Rayner, 1920; Wier, 2007; Wiley, 2000).

Após algum tempo, o medo do pequeno Albert em função aos estímulos condicionados diminuiu replicando o processo de extinção também estudado por Pavlov. Watson desejava

provar que era possível extinguir completamente a sensação de medo de Albert, contudo, sua mãe o retirou do experimento antes de sua conclusão (Jones, 1924; Wier, 2007; Wiley, 2000).

Como de uma forma complementar ao experimento com o pequeno Albert, muitos pesquisadores utilizaram a idéia de condicionamento dentro da terapia comportamental. Em especial, Mary Cover Jones, aluna de pós-graduação de Watson, trabalhou com a eliminação do medo em crianças. Jones provou que, se os medos podem ser instalados por condicionamento, então também podiam ser removidos pelo mesmo procedimento (Jones, 1924; Wier, 2007).

Jones trabalhou em um caso conhecido como o pequeno Peter e o considerava como uma continuação do caso de Albert. No caso de Peter, a origem do medo era completamente desconhecida e o medo se estendia em relação a coelhos, ratos, algodão, pluma e casacos de pele. Jones fez o pareamento do coelho com alimentos que Peter gostava. Após algumas seções, a criança havia superado o medo. Jones notou também que quando entravam outras crianças no mesmo ambiente, o desempenho sofria uma elevação notável (Wier, 2007).

Watson acreditava que os homens são construídos, que era possível moldar uma criança fazendo dela um ladrão, um pistoleiro, um construtor ou qualquer outra opção dentro de um universo quase infinito de possibilidades (Silva, 2005).

Outro personagem importante que influenciou no Behaviorismo de Watson e inspirou uma série de pesquisadores da época foi Edward L. Thorndike, que estudava uma situação de aprendizagem diferente de Pavlov.

O experimento de Thorndike consistia em uma caixa-problema em que um gato faminto era colocado e, para sair da caixa, o animal deveria acionar um dispositivo de abertura. Ao sair da caixa, o gato poderia comer o alimento que estava disponível do lado de fora da caixa.

A concepção do pesquisador era que o comportamento inicialmente aleatório do gato seria gradativamente substituído por um comportamento objetivo de abertura da caixa e que

alimento serviria como reforçador. Esse tipo de condicionamento é conhecido como condicionamento instrumental (Anderson, 2005).

É possível comparar o reforço do condicionamento instrumental com o estímulo não-condicionado do condicionamento clássico. A diferença é que, no condicionamento de Thorndike, o alimento (ou qualquer outro elemento do processo de condicionamento) é dado após a resposta e, no de Pavlov, é oferecido no início dos experimentos.

Thorndike estava interessado nas aplicações da teoria de aprendizagem à educação e sua contribuição mais importante é a lei do efeito. Na lei do efeito, os reforçadores fortalecem as conexões entre estímulo e resposta e, a punição, as enfraquece (Anderson, 2005; Catania, 1999; Moreira, 1999). Thorndike estava certo que o reforço tinha papel fundamental na aprendizagem e seu uso pode ser facilmente visto na prática docente contemporânea, seja na educação presencial ou na educação a distância.

2.1.1 Burrhus Frederic Skinner

O Behaviorismo de Skinner é conhecido como Behaviorismo radical e é bastante influente até nos dias atuais. Skinner foi o mais famoso behaviorista de todos os tempos e transformou o comportamentalismo na principal filosofia das escolas norte-americanas nos anos 1950 e 1960 popularizando o termo.

Skinner ignora completamente a utilização das variáveis intervenientes de Hull, tais como impulso e força do hábito, e utiliza apenas as variáveis de entrada e saída, estímulos e respostas, para prever o comportamento observável. Na visão skinneriana, as principais variáveis de entrada são o estímulo, o reforço e as contingências de reforço; e a variável de saída é o comportamento subdividido em comportamentos operante e respondente.

No Behaviorismo radical, o estímulo é o evento que afeta os sentidos do aprendiz, o reforço é o evento que aumenta a probabilidade de ocorrência de um comportamento que o precedeu e as contingências de reforço são um arranjo de uma situação em que a ocorrência de uma resposta que leve ao reforço é tornada mais provável. O comportamento respondente, definido por Skinner, é aquele que é eliciado involuntariamente perante algum estímulo (p.ex. contração da pupila sob a incidência de luz). O comportamento

operante é aquele em que o aprendiz efetivamente opera sobre o meio, ou seja, quase todos os comportamentos.

A todo comportamento existe um tipo de condicionamento e, portanto, existem dois tipos: condicionamento respondente e condicionamento operante. O condicionamento respondente refere-se ao condicionamento clássico, discutido em seção anterior, em que um estímulo condicionado e outro não-condicionado são emparelhados e, posteriormente, o estímulo condicionado é capaz de eliciar uma resposta. Por outro lado, o condicionamento operante, denominação dada por Skinner e que foi classificado anteriormente como condicionamento instrumental por Thorndike, é aquele em que um reforçador positivo é aplicado explicitamente após a resposta com o objetivo de aumentar a ocorrência do comportamento.

Skinner também é famoso por ter desenvolvido a caixa de Skinner (figura 2.2). A caixa foi desenvolvida para pesquisa com ratos e consiste em uma caixa à prova de som que contém uma alavanca para acionar um dispositivo que libera alimentos. A caixa também possui uma grelha que pode produzir choques e situa-se na base da caixa. Caixas desse tipo são comumente utilizadas em pesquisas de condicionamento instrumental.

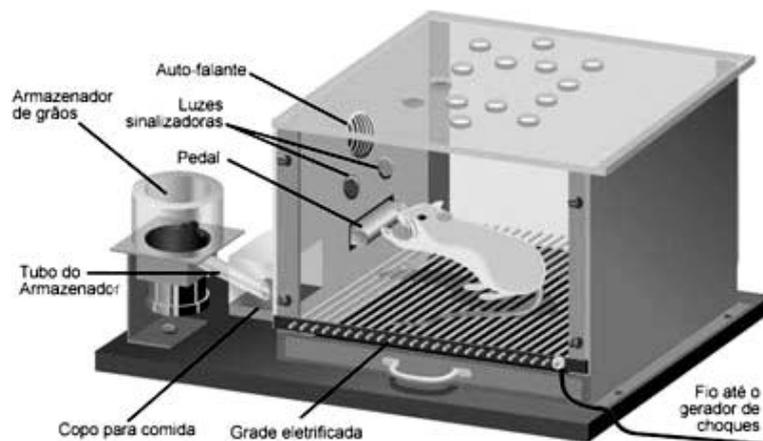


Figura 2.2 Representação esquemática da caixa de Skinner².

Com uso da caixa, Skinner fez experiências que o levaram a várias conclusões importantes tais como a aprendizagem supersticiosa. Para estudar a importância da contingência e da contiguidade do reforço, Skinner fez uma experiência bastante interessante com pombos.

² Sociedade da Terra Redonda – A caixa de Skinner. <http://www.str.com.br/Str/skinner.htm>. Acessado em 28/02/07.

Para descobrir se a contiguidade do reforço era capaz de produzir um condicionamento, Skinner ofereceu aos pombos um reforço positivo com certa frequência independente do que os pombos faziam. Alguns pombos associavam o reforço com respostas acidentais, ou seja, não programadas pelo experimentador, e repetiam o comportamento acidental condicionado pelo reforço. Por exemplo, um pombo adquiriu a superstição de que rodar no sentido anti-horário para receber o alimento e outro ficava batendo a cabeça nas partes mais altas da gaiola. É possível concluir que, apesar de não haver contingência do reforço, isto é, uma relação estreita entre uma determinada resposta e o reforço, os pombos tiveram uma aprendizagem supersticiosa. Conclui-se, portanto, que a contiguidade do reforço produz um condicionamento do comportamento.

Skinner considerou o mesmo comportamento observado para os pombos de forma a explicar os comportamentos supersticiosos dos humanos.

Em termos de aplicações educacionais, Skinner acredita que o papel do professor está muito mais ligado às contingências de reforço do que ao par estímulo- resposta. Em outras palavras, é necessário que o professor faça um planejamento em que o aprendiz tenha um comportamento desejável com mais probabilidade. Vários fenômenos estudados por Skinner podem ser aplicados ao processo educacional como, por exemplo, a modelagem e o esmaecimento.

Na modelagem, também conhecida como método das aproximações sucessivas, várias respostas intermediárias são reforçadas servindo como uma ponte para um comportamento terminal.

No esmaecimento, estímulos iniciais de diferentes valores, por exemplo, linguagem e cor, são apresentados ao aprendiz e um deles é gradativamente esmaecido de forma a ficar apenas o desejável. Um exemplo prático e impressionante é o objetivo de ensinar um deficiente mental a ler o próprio nome através do método do esmaecimento. Dois cartões de cores distintas são apresentados ao aprendiz. Em um dos cartões está escrito o nome a ser aprendido e, no outro, uma palavra qualquer. O aprendiz escolhe inicialmente o cartão pela cor. São feitos vários experimentos em que as cores vão tendendo ao branco. Depois de vários experimentos, o aprendiz continua escolhendo o cartão certo mesmo dentre dois cartões brancos.

Outros exemplos da abordagem de ensino skinneriana são a instrução programada e o Método Keller. Na instrução programada, a informação é apresentada em um grande número de pequenas e fáceis etapas, o aluno participa ativamente da aprendizagem, considera que o aluno aprende melhor quando verifica sua resposta imediatamente, respeita o ritmo individual do aprendiz e todas as etapas devem estar claras para o aluno.

O método Keller contém elementos da instrução programada e é claramente baseado na teoria do reforço para aprendizagem. No método são apresentadas aulas teóricas e demonstrações como elementos motivacionais e não de informação, é dada bastante importância ao poder da palavra escrita e são utilizados alunos como monitores dando ênfase à relação interpessoal no processo educacional.

A posição radical de Skinner em relação ao Behaviorismo e sua posição inflexível em relação às suas convicções o levaram a ignorar completamente a psicologia cognitiva (Silva, 2005).

2.2 COGNITIVISMO

O cognitivismo surgiu como uma reação ao Behaviorismo clássico. Nessa nova psicologia, o objetivo está focado em estudar os processos mentais superiores (variáveis intervenientes), tais como compreensão, percepção, atenção, memória, linguagem, tomada de decisão e outros processos intelectuais, do que associações estímulo-resposta (Moreira, 1999).

O desencantamento dos psicólogos com o Behaviorismo se deu pela dificuldade de explicar a complexidade do comportamento humano fazendo uso apenas de estímulos, respostas e reforço. O avanço na área da linguística também corroborou para o descontentamento com o Behaviorismo. Muitos linguistas afirmavam que existia uma capacidade inata do ser humano em dominar a linguagem, o que ia de encontro à ideia do Behaviorismo em que a linguagem era adquirida por aprendizagem.

O interesse crescente pela psicologia cognitiva foi retratado por Robins *et al.* (1999) ao fazer o levantamento do percentual de artigos publicados em quatro importantes periódicos

da psicologia americana (*American Psychologist*, *Annual Review of Psychology*, *Psychological Bulletin* e *Psychological Review*) que possuíam determinadas palavras-chave ligadas à abordagem behaviorista e à abordagem cognitivista. Nesse estudo, para um artigo ser classificado como behaviorista, foram consideradas “reinforcement” (reforço) e “conditioning” (condicionamento) como palavras-chave. Para a abordagem cognitivista, foram levantados os artigos que continham as palavras-chave “cognitive” (cognitivo) e “cognition” (cognição). O resultado pode não expressar exatamente o percentual dos artigos que apresentam uma ou outra orientação, contudo, levando em consideração um pequeno desvio entre os resultados, é possível verificar tendências importantes, tais como o tempo auge do Behaviorismo nos anos 60, o decréscimo de artigos behavioristas e o aumento de artigos de abordagem cognitivista (figura 2.3).

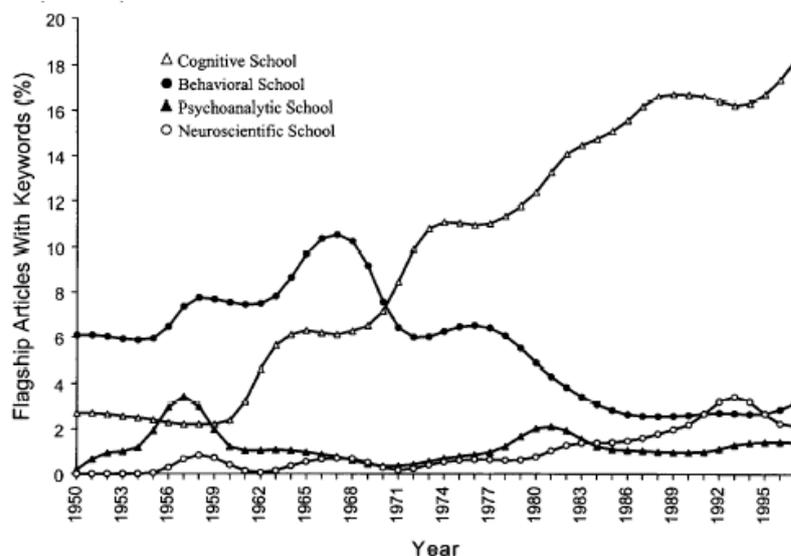


Figura 2.3 Porcentagem de artigos publicados em renomados periódicos americanos de psicologia classificados segundo a metodologia de Robins *et al.* (1999).

A cognição, ou atividade mental, descreve a aquisição, o armazenamento, a transformação e a aplicação do conhecimento. A abordagem cognitiva é uma orientação teórica que enfatiza o conhecimento que as pessoas possuem e seus processos mentais (Matlin, 2004).

As primeiras teorias de aprendizagem cognitivistas foram as de Hebb, da Gestalt, de Tolman e de Lewi, sendo seguidas de teorias de Piaget e Ausubel, dentre outros. Em Piaget, os conceitos mais importantes são os períodos do desenvolvimento cognitivo, os processos de assimilação, acomodação e equilíbrio, levando ao entendimento da aprendizagem por meio do processo reequilibrador. Contudo, devido ao escopo da tese, será feita uma análise mais bem elaborada da abordagem ausubeliana para aprendizagem

que conceitua, dentre outros elementos, os subsunçores e os organizadores prévios para promoção da aprendizagem significativa.

2.2.1 David Paul Ausubel

A teoria de Ausubel é cognitivista e está centrada no conceito da aprendizagem significativa. Segundo Ausubel (2003), o fator principal da aprendizagem está no que o aprendiz já conhece, e, para que um novo conceito seja aprendido e retido em sua estrutura cognitiva, os conceitos prévios existentes devem servir de ancoragem para esses novos conceitos.

A aprendizagem significativa é um processo pelo qual uma nova informação interage com um aspecto relevante da estrutura cognitiva do sujeito, tal como um conceito ou uma proposição relevante. Esse elemento já existente da estrutura de conhecimento do aprendiz é chamado de conceito subsunçor ou simplesmente subsunçor. Desse modo, o armazenamento de informações no cérebro é organizado em uma hierarquia de conceitos, sendo que elementos mais específicos são ligados à conceitos mais abrangentes e inclusivos, tal como o conceito de vetor servirá de subsunçor para o elemento força (Ausubel, 2003).

Além disso, se um novo conceito é ancorado ao conceito subsunçor, o subsunçor é modificado e se torna mais desenvolvido e inclusivo. Contudo, se a aprendizagem significativa não ocorre com frequência em conjunção com um subsunçor em específico, este se torna limitado e pouco desenvolvido.

Em contrapartida, se novas informações são aprendidas sem interação com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva, ocorre a aprendizagem mecânica ou automática.

Sendo que a aprendizagem significativa necessita de conceitos relevantes preexistentes que sirvam de ancoragem para a nova informação, então é lógico que em um primeiro momento deve haver a aprendizagem mecânica, visto que, fazendo o raciocínio inverso, deve haver um início para a série de ancoramentos que dão corpo à estrutura cognitiva. Portanto, na fase inicial da aprendizagem, principalmente na educação infantil, a

aprendizagem mecânica é o ponto inicial para a aprendizagem significativa. Com o desenvolvimento da estrutura cognitiva, a aprendizagem vai se tornando mais significativa e os subsunçores se tornam mais elaborados proporcionando maior possibilidade de ancoragem de novos conceitos.

Após essa fase de formação de conceitos, que é preponderante em crianças pequenas, os novos conceitos são adquiridos geralmente por meio da assimilação, da diferenciação progressiva ou da reconciliação integrativa de conceitos. Contudo, antes de explorar esses novos elementos da teoria de Ausubel, é necessário descrever os tipos de aprendizagem significativa, que são, a saber: a representacional, a de conceitos e a proposicional. Além disso, qualquer uma das três aprendizagens pode ainda ser categorizada como aprendizagem subordinada, superordenada ou combinatória.

A aprendizagem representacional é a aprendizagem de significados e envolve a aprendizagem de símbolos e a relação desses símbolos com os respectivos significados. É a aprendizagem da sintaxe e da semântica atribuídas a objetos e eventos, fundamentais para as demais aprendizagens.

A aprendizagem de conceitos pode ser considerada uma aprendizagem representacional, só que mais elaborada. A aprendizagem de conceitos também é a aprendizagem de símbolos, só que em um nível maior de abstração e generalidade.

Quanto à aprendizagem proposicional, o objetivo é aprender o significado das idéias em forma de proposição. Portanto, o objetivo está além de aprender o significado de várias palavras combinadas, o objetivo é aprender a idéia que a combinação dessas palavras representa.

Esses três tipos de aprendizagem significativa podem ainda caracterizar uma aprendizagem subordinada, superordenada ou combinatória. A aprendizagem subordinada é aquela em que um novo elemento é aprendido através da ancoragem com conceitos preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz, ou seja, existe uma hierarquia entre os conceitos e o novo conceito é o menos inclusivo. Um exemplo seria a aprendizagem de um vetor-posição por um sujeito que já tenha o conceito de vetor em sua estrutura cognitiva.

No entanto, se um conceito mais geral e inclusivo é aprendido e o sujeito possui conceitos da hierarquia desse novo conceito que são mais específicos, então ocorre a aprendizagem superordenada. É o caso de se aprender o que é um vetor, mas, já existe o conceito de vetor-posição na estrutura cognitiva do aprendiz.

No caso da aprendizagem combinatória, a nova proposição ou o novo conceito é aprendido através de uma combinação de elementos já existentes na estrutura cognitiva. Desse modo, não existe uma relação de hierarquia do que deve ser aprendido com os subsunçores, mas, o novo elemento é potencialmente significativo por ser relacionável à estrutura cognitiva do sujeito como um todo.

Quando um novo conceito ou proposição é aprendido por subordinação, o subsunçor existente na estrutura cognitiva também se modifica. Nesse caso, ocorre a diferenciação progressiva.

No caso das aprendizagens superordenada e combinatória, o novo elemento é aprendido é reconhecida como relacionável à estrutura cognitiva e os elementos já existentes são combinados de modo a promover a aprendizagem significativa. Essa recombinação dos elementos já existentes é conhecida como reconciliação integrativa. Mesmo na reconciliação integrativa, ocorre uma diferenciação progressiva adicional dos conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz.

Segundo Ausubel, é mais fácil para o ser humano aprender significativamente conceitos mais inclusivos e depois captar os conceitos mais específicos como diferenciação do todo, do que aprender as partes para chegar ao todo. Sendo assim, a diferenciação progressiva deve ser adotada como um princípio programático da matéria de ensino. A reconciliação integrativa é o princípio pelo qual deve-se explorar as similaridades e diferenças entre as idéias ao propor uma nova instrução. Esses dois princípios podem ser aplicados com o uso de organizadores prévios e mapas conceituais.

Os organizadores prévios são particularmente especiais na confecção de objetos digitais interativos de aprendizagem e têm tido sucesso em projetos nacionais e internacionais (Novak & Cañas, 2006). Neste trabalho, considera-se o uso de simuladores como melhores organizadores prévios para a aprendizagem significativa.

Os organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material a ser aprendido e que possuem um alto nível de abstração, generalidade e inclusividade. A principal função dos organizadores prévios é servir como ponte cognitiva entre o que o indivíduo conhece e o que deve ser aprendido promovendo ainda uma disposição por parte do sujeito em aprender significativamente o novo material (Ausubel, 2003; Tavares, 2004).

3 SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES E SISTEMAS DE HIPERMÍDIA ADAPTATIVA

Conforme abordado no capítulo 1 ao ser apresentada uma revisão do estado da arte dos Sistemas de Tutoria Inteligentes (STI) e Sistemas de Hipermídia Adaptativa (SHA), os primeiros passos em direção ao aprendizado mediado por computadores foram os sistemas chamados de instrução assistida por computador ou *Computer Assisted Instruction* (CAI). Os CAI são baseados no Behaviorismo e a instrução é feita pela apresentação linear e gradativa de diversos módulos de aprendizagem, ou seja, a aprendizagem é modelada a partir de estímulos previamente planejados (Viccari & Giraffa, 2003).

Como os CAI não se adaptavam ao perfil do usuário, surgiram naturalmente os Sistemas Tutores Inteligentes (STI). Os STI surgiram com o objetivo de tornar a aprendizagem adaptável às necessidades do aprendiz.

Um STI utiliza as técnicas de inteligência artificial de modo a proporcionar um ambiente de aprendizagem que leve em consideração os diversos estilos cognitivos dos alunos (Giraffa, 1999). Para isso, um STI deve modelar o perfil cognitivo do aprendiz por meio direto, com uso de questionários, ou indireto, pela análise do comportamento do estudante em interação com o ambiente, e atuar na seleção e apresentação do material de aprendizagem de acordo com as características do estudante. A forma de selecionar e apresentar o material depende das estratégias de ensino que são utilizadas na concepção do sistema tutor.

Além da característica de tornar o ambiente de aprendizagem propício a uma aprendizagem mais eficiente e idiossincrática para o estudante, um STI deve também aprender com sua interação com o usuário e reavaliar suas estratégias de avaliação e de ensino de maneira coerente e dinâmica.

A arquitetura de um STI tradicionalmente é baseada em módulos interrelacionados (Nwana, 1990). Em geral, os seguintes módulos são utilizados: modelo do domínio, modelo do aluno, modelo pedagógico e modelo de interface (figura 3.1).

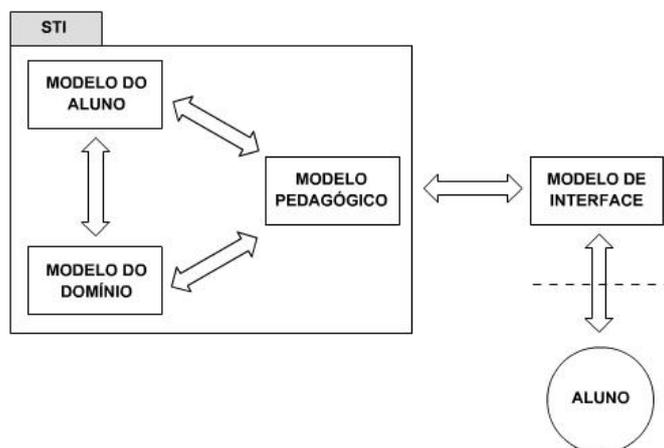


Figura 3.1 Arquitetura tradicional de um STI (baseado em Nwana, 1990).

O modelo pedagógico, responsável pela modelagem de atuação do programa como tutor artificial que auxilia na interação do sistema com o usuário. O aluno está representado através do módulo do aluno, sendo a modelagem do seu perfil cognitivo efetivada de forma estática e dinâmica através de sua interação sobre o módulo do domínio que corresponde ao conteúdo estudado.

3.1 SISTEMAS MULTIAGENTES

Avanços recentes na construção dos STI apontam para a confecção baseada na inteligência artificial distribuída (IAD) utilizando a abordagem de sistemas multiagentes (SMA) (Silveira, 2003; Frigo *et al.*, 2004). Nos SMA, o foco de análise são os agentes e podem ser definidos como entidades de software ou hardware, posicionadas em algum ambiente, capazes de perceber o ambiente por meio de sensores e atuar de forma autônoma sobre ele de acordo com os objetivos com os quais foram projetados. O conjunto de agentes forma uma sociedade e a comunicação entre os agentes geralmente é feita por meio da troca direta de mensagens (Silveira, 2003).

Os agentes podem ser de software ou de hardware, estacionários ou móveis, persistentes ou temporários, reativos ou cognitivos. Agentes estacionários são entidades de software que não possuem a habilidade de se moverem pela rede para outros computadores. Em

contrapartida, os agentes móveis podem se mover para outros ambientes através da rede e, quando se movem, levam consigo seus estados internos.

Agentes persistentes e temporários se diferenciam quanto à permanência no ambiente computacional. Enquanto os persistentes são agentes que não podem ser excluídos do ambiente computacional uma vez que forem lançados no mesmo, os agentes temporários possuem vida finita, são excluídos do sistema após atingirem seus objetivos.

Contudo, a classificação mais importante dos agentes é concernente ao nível de inteligência que possuem. Nesse sentido, os agentes podem ser reativos, cognitivos ou híbridos.

Os agentes reativos são baseados em associações do tipo estímulo-resposta. Agentes desse tipo não possuem uma representação explícita de conhecimento, não apresentam memória, não planejam suas ações futuras e não se comunicam com outros agentes. Seu conhecimento é implícito e pode ser percebido por meio de suas ações.

Os agentes cognitivos possuem uma representação explícita do ambiente e da sociedade de agentes, dispõem de memória e são capazes de planejar ações futuras.

Os STI's baseados em agentes geralmente mantêm os módulos originais da abordagem tradicional: agente de domínio, agente de modelagem do aluno, agente pedagógico e agente de interface.

Conforme dito anteriormente, tem-se observado a necessidade de associar a construção dos STI's aos Sistemas de Hiperídia Adaptativa (SHA) e a combinação dessas duas áreas forma os Sistemas Educacionais Inteligentes e Adaptativos Baseados na Web ou *Adaptive and intelligent Web-based Educational Systems* (AIWBES) (Brusilovsky & Peylo, 2003) (figura 3.2).

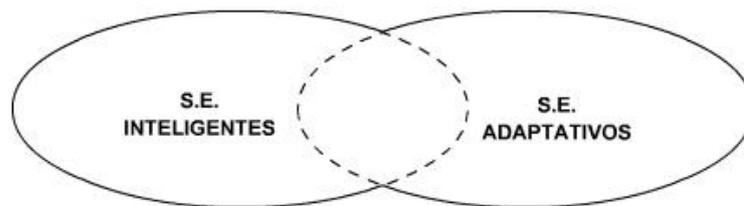


Figura 3.2 Relação entre Sistemas educacionais inteligentes e sistemas educacionais adaptativos (baseado em Brusilovsky & Peylo, 2003).

Segundo Brusilovsky e Peylo (2003), os próximos anos serão promissores nas pesquisas em AIWBES. Nesta tese será desenvolvida uma arquitetura para um sistema que trabalha tanto o aspecto dos STI's quanto dos sistemas adaptativos.

Os SHA's são sistemas de hipertextos e hipermídias que envolvem o estudo e o desenvolvimento de arquiteturas, métodos e técnicas capazes de promover a adaptação da navegação e do conteúdo com base em sua análise das necessidades do usuário. Nesta tese, o interesse maior nesse tipo de sistema é em relação às formas de adaptação conhecidas para que sejam estudadas outras linhas de trabalho e para que os métodos e técnicas estabelecidos possam ser trabalhados nessas novas temáticas. Para isso, foi feita uma revisão sobre os espaços de adaptação e, em especial, acerca da utilização das redes quantizadas na navegação adaptativa.

3.2 ESPAÇOS DE ADAPTAÇÃO E REDES QUANTIZADAS

Conforme apresentado anteriormente, os Sistemas de Hipermídia Adaptativa (SHA) trabalham os conceitos referentes à adaptação do conteúdo e da navegação em sistemas hipermidiáticos. As possibilidades de adaptação foram consolidadas por Brusilovsky (1996; 1998) fazendo um levantamento dos principais métodos e técnicas da hipermídia adaptativa e classificando o espaço de adaptação como sendo dividida em navegação adaptativa e apresentação adaptativa.

Os métodos de apresentação adaptativa são os seguintes: Explicações Adicionais, Explicações de Pré-requisitos, Explicações Comparativas, Variantes de Explicação, e Classificação de Fragmentos de Informação. Sobre as técnicas de apresentação adaptativa,

o autor classifica: Texto Condicional, Texto Alongado, Variantes de Fragmento, Variantes de Página, e frames.

Os métodos de navegação adaptativa descritos por Brusilovsky são a Condução Global, a Condução Local, o Suporte à Orientação Local e o Suporte à Orientação Global. Finalizando a teoria sobre os espaços de adaptação, as técnicas registradas concernentes à navegação adaptativa são: Orientação Direta, Classificação adaptativa, Ocultação de *Links*, Anotação de *Links*, e Adaptação de Mapas.

As técnicas e os métodos descritos nos trabalhos de Brusilovsky, bem como a forma de classificação sugerida, são largamente utilizados nas pesquisas em hipermídia adaptativa e tais conceitos foram ratificados por Palazzo em 2000.

3.2.1 Apresentação Adaptativa

Na apresentação adaptativa, o conteúdo é adaptado de acordo com as características do usuário. Existem diversas técnicas que são aplicadas a conteúdos específicos, sejam eles textos, imagens, vídeos, áudio, animação, dentre outros possíveis. No caso da apresentação adaptativa de textos, a adaptação é feita por meio da modificação de atributos e ocultação de informações. Essas modificações são feitas no texto dentro de um pequeno universo de possibilidades antes de serem apresentadas ao usuário.

Dentre os métodos de adaptação de conteúdos mais utilizados, a Explicação Adicional (EA) é um dos mais populares de adaptação e consiste em ocultar parte da informação sobre um certo conceito que não é relevante para o nível de conhecimento ou o interesse do usuário.

Outros métodos bastante utilizados são os da Explicação Requerida (ER), da Explicação Comparativa (EC), da Explicação Variante (EV) e da Classificação de Fragmentos (CF), que podem ser empregados para modificar a informação apresentada ao usuário dependendo do seu nível de conhecimento sobre os conceitos relacionados (Brusilovsky, 1996; Brusilovsky, 1998; Palazzo, 2000).

O método da ER consiste na ordenação dos conteúdos de modo que a informação apresentada em primeiro lugar é pré-requisito para a seguinte. Desse modo, se um conteúdo é apresentado para explicação de um conceito, o sistema insere a explicação de todos os conceitos requeridos para o seu entendimento.

No método da EC, explora-se a similaridade existente entre dois conceitos. Portanto, se há um conceito similar ao conceito corrente como fragmento de texto ou mesmo em outro hiperdocumento, o usuário recebe uma segunda explicação comparativa. Desse modo, o usuário pode verificar as semelhanças e diferenças entre os dois conceitos, aumentando conseqüentemente seu poder de aprendizagem (Brusilovsky, 1998).

Na EV, levanta-se a hipótese de que as modificações no nível de recorte e atributos da informação não são indicadas como métodos de promoção para uma adaptação eficiente. Nesse método, é necessário confeccionar uma série de hiperdocumentos sobre um mesmo tema gerando um aumento de possibilidades.

A Classificação de Fragmentos (CF) consiste em ordenar fragmentos de informação sobre um conceito de modo que a informação mais relevante é apresentada em destaque.

Para utilização dos métodos citados, algumas técnicas podem ser aplicadas, tais como o Texto Condicional (TC), onde a informação é dividida em fragmentos e cada fragmento é associado a condições relacionadas ao nível de conhecimento do usuário, e do *Stretchtext*, um tipo especial de hipertexto onde há a possibilidade de expansão ou contração dos links para os fragmentos de textos associados.

Contudo, a técnica considerada mais eficiente é a representação por meio de *frames*, onde o conteúdo é fragmentado em *frames* e as informações adicionais como conteúdo similares, *links*, exemplos, dentre outros, são armazenados nos *slots* do *frame*.

3.2.2 Navegação Adaptativa e as Redes Quantizadas

Na navegação adaptativa, o objetivo é oferecer ao usuário a oportunidade de acessar os conteúdos que potencialmente podem ser de seu interesse e isso pode ser feito por meio da

seleção de *links* mais importantes, ordenação ou ocultação (Palazzo, 2004; Brusilovsky, 1998).

Para fazer a análise dos *links* mais importantes, é possível fazer a geração de redes de informações quantizadas, onde cada ligação entre nodos possui um potencial de ativação gerado e atualizado a partir das características do usuário e da utilização dos mesmos. As redes de informações são formadas por nodos, ligações entre nodos e um conjunto de informações específicas de cada rede. Os nodos são classificados como entidades primitivas que podem ser unidades estruturais, semânticas ou referenciais do sistema e, neste trabalho, são definidos como cada tópico de um tema de um curso.

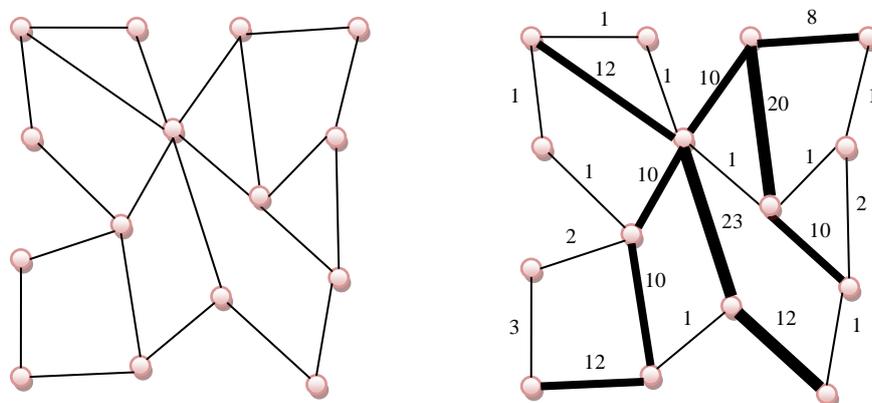


Figura 3.3 Redes quantizadas.

A quantização da rede pode ser feita de dois modos: retroativa e proativa. Na quantização retroativa é considerada a frequência de acesso dos nodos da rede, ou seja, cada ligação possui um valor associado e quando um usuário faz o caminho entre dois nodos da rede, é incrementado um valor predeterminado. Desse modo, a frequência de acesso promove uma quantização da rede inicial e indica as ligações mais importantes da rede.

A quantização proativa é uma complementação do processo em que são realizadas inferências sobre os acessos aos nodos da rede por meio das operações de fecho. Esse modelo apresentado por Palazzo (2000) possui base no conceito matemático de fecho e suas principais classificações: fecho cíclico (figura 3.4a), fecho transitivo (figura 3.4b), fecho sobrejetor (figura 3.4c) e fecho sobrejetor inverso (figura 3.4d) (Heylighen, 1988; Palazzo, 2000; Palazzo, 2004).

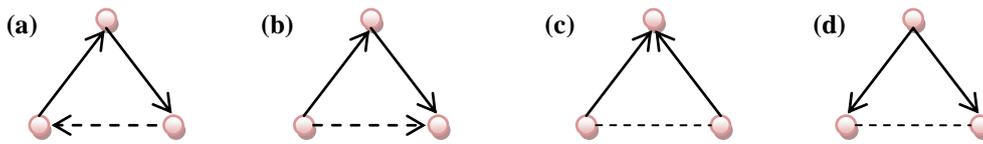


Figura 3.4 Operações de fecho.

A idéia principal é utilizar as operações de fecho para gerar novas ligações entre os nodos da rede, identificando a evolução da rede e antecipando possíveis estados futuros da rede. Com as operações de fecho é possível induzir o surgimento de novos estados e configurações e utilizar uma heurística simples em relação à forma de quantização das ligações com base em tais operações.

Alguns operadores conhecidos são frequência, transitividade e simetria, conceitos trabalhados por Bollen e Heylighen (1996) para auto-aprendizagem de uma rede de informações distribuída e com múltiplos usuários, onde foi verificada também a estabilidade da rede de acordo com esse modelo; e, por Palazzo (2000) no processo para quantização de uma rede hipermediática, onde foi inclusa também a operação de degradação da rede para representação da história recente em favor de uma melhor navegação adaptativa. A aplicação dessa e de outras teorias similares possuem um grande espaço de aplicações, em especial, para auto-organização de sistemas dinâmicos em diversos campos do conhecimento: cibernética, termodinâmica, biologia, matemática, evolução da linguagem e evolução de sistemas dentro da internet (Gershenson, 2007).

No operador frequência, se um nodo A é acessado e, logo em seguida, um nodo B, então o potencial de ativação P_{AB} entre A e B sofre a seguinte operação $P_{AB} = P_{AB} + K_F$. O coeficiente K_F é chamado de constante de frequência e é o coeficiente de maior valor pelo fato de ser uma ação direta do usuário sobre a rede.

A transitividade está relacionada com uma sequência de três acessos, ou seja, se o usuário acessou na ordem os nodos A, B e C, então o potencial de ativação entre A e C, P_{AC} , sofre a seguinte modificação $P_{AC} = P_{AC} + K_T$. Vale notar que o usuário não fez o caminho entre A e C, contudo, é possível que haja alguma relação entre esses nodos. O coeficiente de

transitividade K_T provavelmente terá em sua especificação um valor inferior à K_F pois é uma inferência sobre a rede e não resultado de uma ação direta.

Um exemplo simples da importância de se realizar uma inferência sobre a rede de informações seria um repositório de vídeos em que o usuário acessou os vídeos A, B e C, em sequência. Pelo operador de frequência, a ligação entre A e B e a ligação entre B e C foram incrementadas um determinado valor e, com isso, outro usuário que fizesse o acesso ao nodo A, teria a indicação que o nodo B poderia ser relevante de acordo com seus interesses, contudo, não faria nenhuma menção ao nodo C. Mas, com o uso do operador de transitividade, o nodo C também poderia entrar na lista de ligações de interesse.

O operador de simetria tem por objetivo representar o nível de simetria do potencial de ativação em relação à direção da ligação entre dois nodos, ou seja, se os nodos A e B forem acessados nessa ordem, então o potencial de ativação entre B e A deve ser modificado para $P_{BA} = P_{AB} + K_S$.

Por fim, a taxa de degradação Z especifica um decréscimo percentual no potencial de ativação P dos nodos da rede de acordo com um intervalo de tempo T especificado. Em termos matemáticos: $\forall P, P = P(1 - Z) | T$.

A degradação da rede constituída como um percentual do valor total do potencial de ligação de cada nodo garante a quantização da rede de acordo com acontecimentos recentes sem que, com isso, as ligações tenham esses valores anulados. Como a degradação possui decaimento percentual em cada momento, é possível trabalhar também com a idéia de meia vida de uma rede que especifica o tempo necessário para uma ligação da rede perder metade de seu potencial de ligação se não participar de nenhuma operação de fecho. Sendo assim, a meia vida V é dada por:

$$V = 1 + \log(0.5) / \log(1 - Z)$$

Com a aplicação dos operadores de fecho, novas ligações são constantemente criadas e reavaliadas e um limiar de visibilidade pode ser especificado como critério de exibição das ligações.

4 ARQUITETURA DE UM SISTEMA DE TUTORIA INTELIGENTE E ADAPTATIVO E A MODELAGEM DO DOMÍNIO

Este capítulo inicia com a apresentação da arquitetura de um Sistema de Tutoria Inteligente aplicado a Objetos de Aprendizagem Multifomes (STI-OAM) que, segundo a revisão acerca dos STI's, SHA's e educação a distância, vai em direção aos avanços nessas áreas.

Em seguida, é feita uma análise das características necessárias de um modelo de domínio para o STI-OAM e é proposta uma modelagem para caracterização do domínio. Por fim, é descrita a utilização do modelo duas abordagens didáticas distintas: behaviorista e ausubeliana.

4.1 ARQUITETURA DE UM SISTEMA DE TUTORIA INTELIGENTE E ADAPTATIVO

Conforme visto anteriormente, existem vários projetos de construção de STI, contudo, eles atuam sobre objetos de aprendizagem de forma externa, ou seja, apenas selecionam o grupo de objetos que serão apresentados ao aprendiz. Desse modo, os objetos de aprendizagem se tornam faixa limitante para potencialidade e flexibilidade de um STI.

Em pesquisas recentes, a interação de STI e SHA está sendo estudada em uma tentativa de aumentar o potencial da tutoria inteligente em educação. Mesmo assim, a atuação do STI não ocorre internamente nos objetos de aprendizagem e não há a possibilidade de intervenção em tempo de execução.

Sem a conexão com os SHA, os STI atuais somente conseguem proporcionar um ambiente de aprendizagem flexível, adaptativo e individualizado, se forem desenvolvidos vários pacotes de objetos diferenciados sobre os quais o STI atua selecionando o material de aprendizagem de acordo com as necessidades do aprendiz. Desse modo, a atuação do STI

se torna limitada e inviabiliza a sua utilização pelos autores de objetos de aprendizagem. Corroborando com essa inviabilidade educacional quando se trata de autores de objetos de aprendizagem, alguns pesquisadores identificam que as pesquisas em STI's estão muito mais voltadas para as questões técnicas do que para as questões de aprendizagem (Costa *et al.*, 1997).

Em termos práticos, basta considerar a problemática de um professor que desejasse utilizar um sistema de tutoria inteligente e descobrisse que, para isso, não irá construir apenas alguns módulos da disciplina (p.ex, dois objetos de teoria e exemplos, dois de exercícios interativos e um simulador), conforme o usual, e sim, cerca de quatro vezes mais, e com uma estratégia de ensino diferenciada. É fácil concluir que o sistema não é versátil, mesmo considerando ferramentas de autoria auxiliares.

Mesmo considerando a situação utópica em que um professor-autor construa diferentes materiais de aprendizagem, em diferentes contextos, para diferentes estilos de aprendizagem, as possibilidades são finitas e a atuação do STI não será eficiente a ponto de justificar os investimentos em sua própria confecção.

Outro ponto importante é em relação à necessidade real de um STI, visto que rapidamente os clientes desses sistemas passam de imigrantes digitais para nativos digitais e, com a facilidade de navegação na web proporcionada pelos SHA e busca de informações pela internet e a promoção de aprendizagem cooperativa por meio de ferramentas síncronas e assíncronas, as dificuldades que porventura aparecerem em um curso a distância baseado na web serão provavelmente superadas. Nesta tese, defende-se que a grande necessidade de um STI em ambientes educacionais é atuando internamente em objetos de aprendizagem, como, por exemplo, em simuladores. Sendo assim, o STI deve orientar o aluno na resolução de problemas em todo e qualquer momento que considerar necessário, e, selecionar o nível do simulador de acordo com a capacidade e interesse do aluno.

Nos projetos de STI analisados, o foco da criação da base de dados, onde são armazenados os objetos de aprendizagem, é a necessidade do aprendiz em diversos contextos. No entanto, para que um STI possa ter liberdade de atuação, deve ser estudada a construção de um objeto de aprendizagem que seja adaptável às necessidades do STI, de modo similar

que é realizada nos SHA. Em analogia, é a passagem de um domínio discreto de poucas possibilidades para um domínio contínuo, de possibilidades infinitas.

Portanto, para que o STI possa ser confeccionado com as características mencionadas, é necessária a concepção de um novo modelo de objeto de aprendizagem: o Objeto de Aprendizagem Multiforme (OAM). O OAM será discutido em detalhes mais adiante neste mesmo capítulo, contudo, basicamente pode-se dizer que ele é um arquivo digital de suporte à aprendizagem que pode ser apresentado de maneiras diferentes e em tempo real em relação a diferentes abordagens didáticas de acordo com as necessidades do STI-OAM que atua internamente sobre ele.

Com uso dos OAM's, o autor de um curso terá que construir poucos objetos de aprendizagem e o próprio objeto se modificará dinamicamente de acordo com o comando do STI-OAM. Além disso, sugere-se que em um STI-OAM tenha uma biblioteca de autoria que contenha objetos e funções pré-definidas que, desse modo, reduziriam de forma substancial o tempo de construção de cursos on-line.

A arquitetura do STI-OAM foi concebida com foco inteligência artificial distribuída e contempla a navegação e a apresentação na intervenção direta sobre objetos de aprendizagem.

Sendo assim, foi feita uma modificação em relação às arquiteturas dos sistemas estudados durante a revisão bibliográfica em que há a utilização de apenas um agente pedagógico e sua confecção é baseada em apenas uma teoria ou estratégia de aprendizagem. Há poucos casos onde coexistem vários agentes pedagógicos, mas, baseados sempre em uma mesma linha educacional, ou seja, behaviorista, cognitivista ou humanista. Sobre esse problema, adotou-se um esquema com o uso de um sistema pedagógico com vários agentes pedagógicos e a seleção de qual agente atua em cada momento é feita por um agente coordenador.

O objetivo de se utilizar várias teorias de aprendizagem na concepção da construção dos agentes do STI-OAM e do conteúdo é para contemplar os diversos estilos e objetivos de aprendizagem dos estudantes. A arquitetura simplificada do STI proposto é mostrada na figura 4.1.

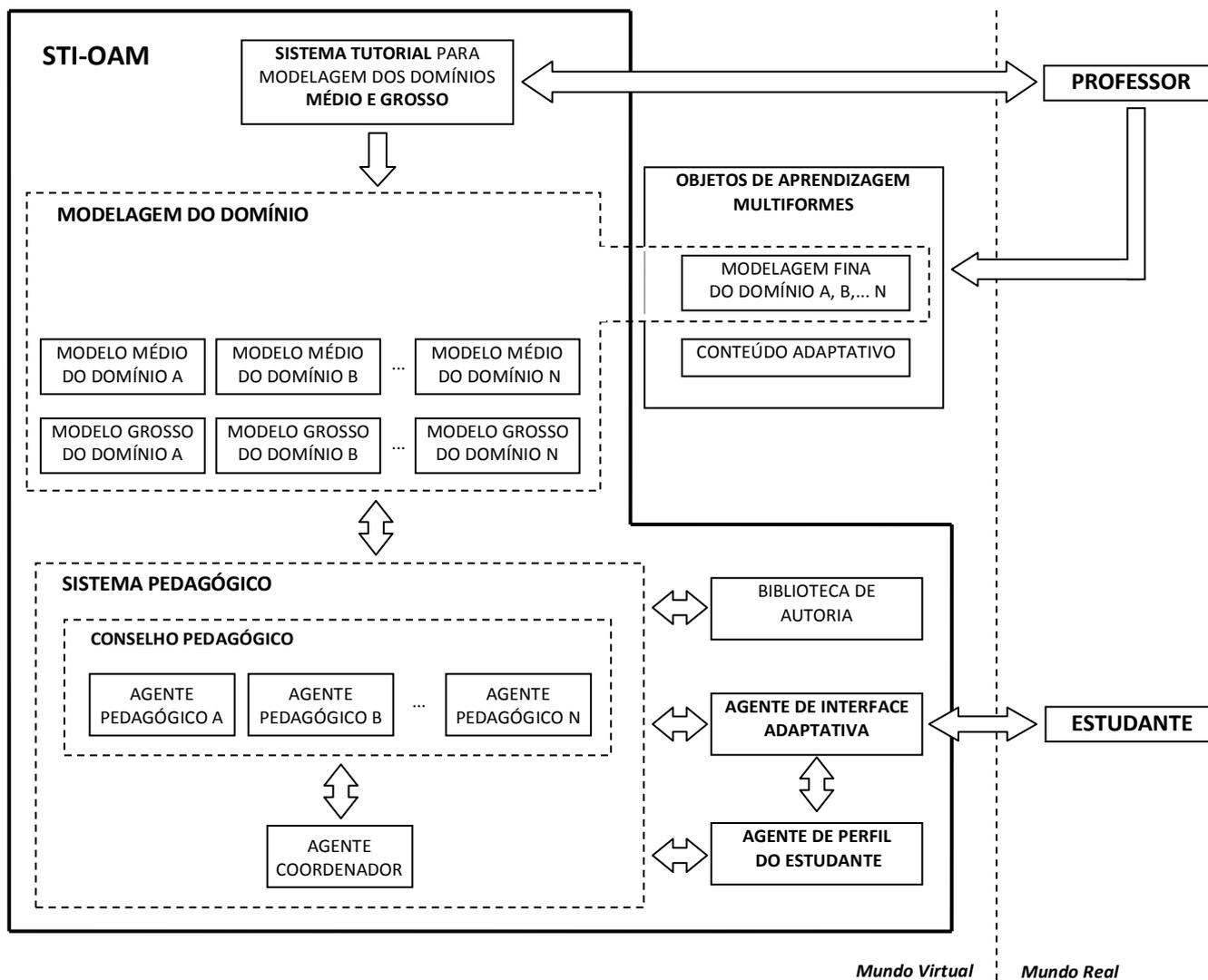


Figura 4.1 Arquitetura do STI proposto.

O STI-OAM idealizado possui quatro elementos principais: modelagem do domínio, sistema pedagógico, agente de interface adaptativa e agente de perfil do estudante. Além desses, são propostos mais dois elementos de apoio: biblioteca de autoria e sistema tutorial para modelagem dos domínios médio e grosso.

A modelagem do domínio é a caracterização do conteúdo do curso, ou seja, especificam como o tema está estruturado, quais as informações necessárias para que o sistema pedagógico possa decidir os melhores caminhos de aprendizagem a serem propostos ao estudante e como o conteúdo deve ser exibido em cada situação. O domínio para o STI-OAM deve estar definido em três níveis – fina, média e grossa – sendo que a modelagem

final deve estar preferencialmente descrita em um OAM, pois assim o OAM pode ser reutilizado em outros contextos levando consigo as informações para adaptação.

Ainda sobre a modelagem de domínio, foram utilizadas as letras A, B e N para representar a possível utilização de diversas teorias de aprendizagem, ou seja, a teoria A, a teoria B, podendo existir N outras. O mesmo vale para os agentes pedagógicos A, B e N.

Devido ao objetivo do sistema possuir um caráter multipedagógico, houve a necessidade de trocar o conhecido modelo de agente pedagógico por um sistema pedagógico. O sistema pedagógico é formado por um conselho pedagógico com vários agentes e um agente coordenador que determina qual o melhor agente pedagógico indicado em cada momento da ação do estudante no curso.

O agente de interface monitora as ações do estudante no curso e apresenta os elementos de navegação e de conteúdo e, do mesmo modo que em outros sistemas, o agente de perfil do estudante é responsável pela percepção das características psicopedagógicas do aluno, tais como: domínio, nível de conhecimento, nível de desenvolvimento cognitivo, motivação e características afetivas do aprendiz (Giraffa, 1999). O agente de perfil de estudante faz o papel do modelo do aluno da arquitetura clássica, ou seja, é responsável por fornecer dados suficientes sobre cada estudante de modo que o agente pedagógico possa utilizar a modelagem do domínio para indicar percursos diferenciados para cada estudante e fazer a adaptação do conteúdo. A diferença sugerida está nas características específicas desse componente que deve ser almejada por pesquisadores da área de modelagem do usuário podendo ser citadas, segundo Wooldridge e Jennings (1995), a autonomia, a sociabilidade, a reatividade e a pró-atividade.

Após a apresentação da arquitetura idealizada para um STI-OAM, o foco agora está em como fazer sua modelagem do domínio para que um agente pedagógico do sistema pedagógico possa interagir com o sistema e decidir os potenciais percursos de aprendizagem e isso será discutido a seguir.

4.2 LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS PARA MODELAGEM DE DOMÍNIO DO STI-OAM

O modelo de domínio é responsável pela caracterização do conteúdo a ser estudado de modo a ser utilizado pelos agentes pedagógicos do STI. Sendo assim, é necessário entender o contexto em que será utilizado de modo a construir uma metodologia apropriada.

Dentre os diversos requisitos a serem contemplados pelo modelo de domínio desta tese, existe um bastante peculiar que é o caminho realizado pelo aprendiz dentro da plataforma e seus objetivos ao acessar um curso específico, haja vista que se trata da utilização de um STI em um repositório de cursos on-line. Como os ambientes virtuais de aprendizagem também são muito usados por professores da educação presencial como apoio ou extensão à sala de aula, é bem provável que um estudante acesse o conteúdo do curso construído por seu professor presencial com um objetivo específico em algum tema do curso on-line.

Também devem haver dados e controles suficientes sobre o modelo de modo que os agentes pedagógicos possam aplicar a melhor estratégia de ensino em cada caso. Além disso, a modelagem deve contemplar diferentes teorias de aprendizagem de modo que o conteúdo seja adaptável também nesse sentido.

Além disso, como o STI-OAM foi proposto com base na união entre os Sistemas de Tutoria Inteligente (STI), Sistemas de Hipermídia Adaptativa (SHA) e Objetos de Aprendizagem (OA), natural seria a tentativa de fazer uma adaptação de modelos ou técnicas que englobassem as três áreas. Isto será mostrado mais adiante quando for apresentada uma modelagem baseada em redes quantizadas, ou seja, um modelo de hipermídias adaptativas modificado para ser aplicado em sistemas inteligentes.

Além desses requisitos, o STI idealizado neste trabalho faz uso de Objetos de Aprendizagem Multiformes (OAM's) e que devem ser considerados na construção da modelagem do domínio. Apesar de existirem várias técnicas de adaptação para o conteúdo apresentado ao estudante, tais como a explicação adicional, a explicação requerida, a explicação comparativa, a explicação variante e a classificação de fragmentos (Brusilovsky, 1996; Brusilovsky, 1998; Palazzo, 2000; Palazzo, 2002), todas têm foco na adaptação textual, dentro dos espaços de adaptação constituindo um ramo da área de

apresentação adaptativa, não atingindo boa parte das outras mídias utilizadas em sistemas educacionais.

Sendo assim, o desafio está em oferecer controles pedagógicos em objetos textuais e trabalhar na adaptação de objetos de aprendizagem de avaliação e de simulação. Mais especificamente, deseja-se oferecer controle sobre o nível de detalhamento desejado da teoria apresentada ao estudante e sobre as estratégias pedagógicas e nível de complexidade das atividades que interferem na apresentação ou no funcionamento do OAM.

De acordo com o exposto, é possível listar as características que a modelagem de domínio desenvolvida nesta tese deve possuir:

- Utilização em um repositório de cursos on-line;
- Facilidade de utilização por parte do professor tanto na construção do modelo do domínio quanto na redução de objetos de aprendizagem necessários para compor um curso adaptável ao perfil do estudante;
- Flexibilidade para contemplar diferentes modelos pedagógicos;
- Deve oferecer controles suficientes aos agentes pedagógicos do STI-OAM de modo a sugerir caminhos adequados de aprendizagem a serem percorridos de acordo com o perfil e os objetivos do estudante e de sua interação com os objetos educacionais do curso;
- Deve oferecer controles sobre os objetos de aprendizagem de modo que o STI-OAM possa alterar atributos para uma apresentação adaptativa.

Diante do exposto, a solução apresentada nesta tese é uma divisão do modelo de domínio em três partes:

Modelagem fina: arquitetura interna dos OAMS para uma apresentação e navegação local adaptativas;

Modelagem média: arquitetura dos objetos de aprendizagem pertencentes aos nodos para uma navegação adaptativa;

Modelagem grossa: arquitetura dos nodos da rede para uma navegação global adaptativa.

4.3 MODELAGEM FINA: OBJETOS DE APRENDIZAGEM MULTIFORMES

A modelagem fina trata da arquitetura de cada Objeto de Aprendizagem Multiforme (OAM) utilizado na rede e das formas de interação que o objeto pode realizar com os agentes pedagógicos para adaptação às necessidades e características do aluno.

4.3.1 Objetos de Aprendizagem Multiformes (OAM)

Apesar das diferentes definições para os objetos de aprendizagem, neste trabalho são considerados como entidades digitais que possuem um objetivo educacional específico, que possam ser reutilizados em outros contextos educacionais, que possuam metadados para sua identificação e que são executados por meio de um computador digital.

Os objetos de aprendizagem devem ser construídos em uma cumplicidade entre o conhecimento científico, as teorias de aprendizagem e as tecnologias de informação e comunicação. O autor dos objetos educacionais geralmente deve refletir sobre os objetivos principais e secundários do objeto levando em consideração o conteúdo principal e o público-alvo. Dessa reflexão surgirá a convicção da teoria de aprendizagem a ser utilizada na construção do objeto digital.

É perspicuo que entre muito educadores existe um forte partidarismo na utilização de uma ou outra teoria de aprendizagem e, geralmente, defendem sempre a utilização da mesma teoria independente do aluno, do curso e dos objetivos educacionais. É aceitável que para um professor que possua sempre um mesmo público-alvo e as mesmas condições ambientais para desenvolver um trabalho de ensino-aprendizagem, é possível manter certo partidarismo em relação a qual teoria de aprendizagem utilizar. Contudo, em um ambiente virtual onde existe uma enorme heterogenia de público e conteúdo a ser produzido para os mais diferentes objetivos, deve haver uma reflexão constante sobre qual a melhor teoria a ser utilizada em cada caso. Além disso, devido à granularidade dos objetos de aprendizagem, diferentes teorias podem coabitar em um mesmo objeto digital.

Se o objeto for direcionado para um público que necessite de informações rápidas e cujo conteúdo não será necessário para formação de novas idéias, é viável e fortemente indicada a teoria behaviorista, na qual o conhecimento deve ser apresentado de modo direto e encadeado. Para o autor de objetos educacionais em outra linha pedagógica não significa, com isso, um esquecimento da necessidade em construir o conhecimento ou ainda compactuando com esse tipo de aprendizagem. É, por exemplo, a necessidade de haver eficiência em treinamentos corporativos de novas tecnologias e métodos, tanto em termos da aprendizagem quanto em relação ao tempo investido.

Teorias diferentes podem ser utilizadas para a construção de objetos constituintes de outros objetos de aprendizagem, seguindo a idéia de granularidade. Se o público-alvo de um objeto for muito heterogêneo, há uma necessidade de construir portas de acesso a informações básicas ao tema, de forma a se evitar a evasão devido à confusão no entendimento e baixa de auto-estima. Ausubel (2003) sugere que a aprendizagem mecânica é necessária quando não existirem subsunçores.

As teorias cognitivistas, por exemplo, são facilmente defendidas perante uma educação a distância de qualidade e são particularmente parceiras das potencialidades computacionais, como os simuladores e os objetos interativos hipermidiáticos. Entretanto, a grande dificuldade é fazer um mesmo objeto indissolúvel que utilize várias teorias de aprendizagem e que se adaptem às necessidades do estudante, isto é, um único arquivo digital que seja apresentado de formas diferentes, tanto em forma quanto em conteúdo, na interação com o estudante.

O OAM é definido neste trabalho como todo arquivo digital de suporte à aprendizagem que pode ser apresentado de formas distintas e em tempo real de acordo com as necessidades do STI-OAM que atua internamente no objeto modificando seus atributos. Além disso, um OAM não necessariamente é um objeto passivo e pode solicitar dados, funções e outros objetos complementares para o STI-OAM.

Os OAM se aproximam conceitualmente dos OA utilizados no contexto da hipermídia adaptativa, contudo, são mais flexíveis, visto que podem ter sua apresentação e navegação adaptadas em tempo real e a atuação do STI-OAM é interna, ao invés de externa. A figura 4.2 sintetiza as diferentes concepções encontradas pela revisão bibliográfica realizada dos

sistemas STI, SHA E STI-OAM em termos da interação entre o sistema, o conteúdo e o estudante.

A figura 4.2(a) mostra uma interação direta do estudante sobre o conteúdo, mas, a adaptação é feita pelo sistema inteligente ao realizar uma escolha do conteúdo a ser apresentado. Já no SHA, figura 4.2(b), há uma redução no número de objetos sobre um determinado tema, mas, o sistema inteligente também não atua internamente sobre o conteúdo, ou seja, a hipermídia adaptativa é produzida com o potencial de ser apresentada de formas diferentes de acordo com variáveis de entrada e não de acordo com a interação em tempo real. Já no sistema inteligente com o uso de objetos multiformes, figura 4.2(c), além da interação do estudante com o conteúdo, há um controle interno feito pelo sistema inteligente. Sendo assim, um OAM pode ser apresentado de formas distintas ilimitadas e em tempo real.

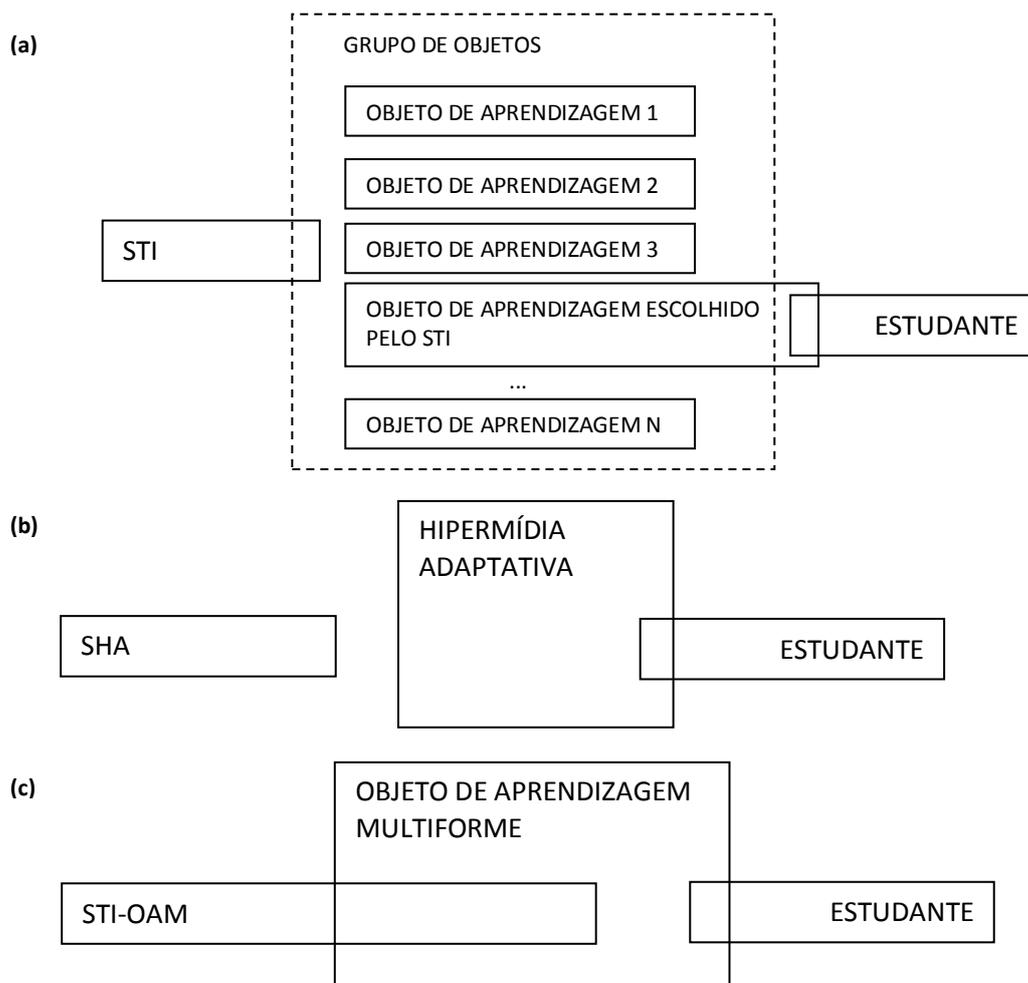


Figura 4.2 Esquemas conceituais de arquiteturas STI, SHA e STI-OAM.

Para elucidar a diferença entre um OAM e um OA construído com base na hipermídia adaptativa, basta considerar um STI ou SHA atuando sobre um simulador adaptativo desenvolvido em uma ferramenta qualquer, por exemplo, Flash com programação em ActionScript. Em geral, um STI irá selecionar, em um grupo de simuladores, aquele mais adequado para o estudante e um SHA irá modificar os atributos do objeto antes que haja interação efetiva do estudante com o recurso educacional. Se, no entanto, o aluno apresentar dificuldades durante sua execução, o STI ou SHA não terá como perceber a interação do aprendiz com o simulador e não atuará sobre ele em tempo real. No OAM, o STI percebe a interação do aprendiz e atua na modificação do recurso em tempo real.

Além disso, como o STI-OAM atua internamente no OAM alterando valores de variáveis e atributos de objetos internos, compartilhando informações, outros objetos e funções, então há a possibilidade de atuação do STI no auxílio à confecção de novos OAM's. Assim, o tempo de construção de novos objetos seria gradativamente reduzido.

Nesta tese, serão trabalhados três tipos de OAM para a modelagem de um domínio:

- **OAM de teoria:** apresentação teórica baseada em componentes de adaptação, estrutura de subtemas e quadros-chave;
- **OAM de teste:** problemas de múltipla escolha baseados em banco de questões e estratégias pedagógicas;
- **OAM de simulação:** animações interativas e simuladores baseados em controles de complexidade e condições de fase.

O objetivo desta etapa da modelagem é o de proporcionar uma forma de adaptação ainda não estudada em outros trabalhos de hipermídia adaptativa em dois aspectos: adaptação pedagógica e adaptação durante a interação do estudante com o objeto educacional. Sendo assim, o foco do trabalho correspondente à estrutura dos OAM's foi a de estudar tais elementos e apresentar uma solução viável.

Fundamentando-se no exposto, um OAM é um arquivo da rede que descreve o domínio e é definido como [*Inteiro: tipo, Inteiro: ocultabilidade, Inteiro: número de acessos, Inteiro: número de avaliações, Data: último acesso, Inteiro: expertise, Real: avaliação, Real: confiabilidade*].

Onde *tipo* representa se o OAM é de teoria (1), de teste (2) ou de simulação (3); *ocultabilidade* determina se o OAM deve ser exibido para um determinado nível de aluno, variando de 1 (deve ser exibido para alunos do nível 1) a 5 (deve ser exibido para todos os níveis de alunos); *número de acessos*, *número de avaliações* e *último acesso* indicam o número de acessos, o número de avaliações e o último acesso, respectivamente; *expertise* indica quanto que um excelente estudante seria normalmente avaliado no OAM (variando de 5 a 10), *avaliação* indica quanto o estudante foi avaliado no OAM (variando de 0 a 10), havendo ainda o registro da *confiabilidade* da avaliação (intervalo de 0 a 1) e da data do *último acesso*.

Para um OAM de teoria, a avaliação, a expertise e a confiabilidade refletem apenas o acesso ao arquivo e, portanto, deve-se atribuir o valor máximo no primeiro acesso realizado pelo estudante.

Segue um exemplo de uma variável *id_006* que especifica um arquivo da rede:

a) $id_{006} = [2, 4, 0, 0, 00/00/0000, 9, 0, 0]$
(estado original, antes do primeiro acesso)

b) $id_{006} = [2, 4, 3, 3, 19/02/2010, 9, 6.5, 0.85]$
(estado intermediário, após três avaliações)

Nesse caso, o tipo 2 identifica que é um OAM de teste; 4 indica que é um arquivo importante para o aprendizado e que só pode ser ocultado para alunos do nível 5; 9 especifica uma expertise igual a 9, isto é, um excelente aluno acertaria normalmente 90% das questões. Nas demais variáveis há uma variação entre o estado original (a) e o estado intermediário (b) e, no segundo caso, indicam que o OAM foi acessado e avaliado 3 vezes tendo como resultado final uma avaliação igual a 6.5 e uma confiabilidade desta avaliação equivalente a 85%.

No capítulo anterior foram mostradas algumas formas já conhecidas de adaptação oriundas de pesquisas em sistemas de hipermídia adaptativa e o objeto desta etapa da modelagem do

domínio é apresentar formas alternativas de adaptação em tempo real, em especial, em OAM's de teste e de simulação.

4.3.2 OAM de Teoria

Um módulo teórico é geralmente formado por textos, hipertextos, imagens, animações, pequenas simuladores, ambiente de navegação local e outros símbolos adicionados em cada frame.

Conforme já citado, existem várias técnicas de adaptação de textos teóricos, portanto, o objetivo deste item do trabalho será apresentar formas de comunicação entre o STI-OAM e o OAM para que seja possível uma interação em tempo real. Além disso, também será estudada uma forma de apresentação adaptativa quanto à abordagem didática.

Uma solução possível é a representação do domínio fino por quadros-chave (*keyframes*) com conteúdos que podem ser apresentados gradualmente ao estudante especificando também a correlação entre os conceitos por meio do agrupamento em subtemas.

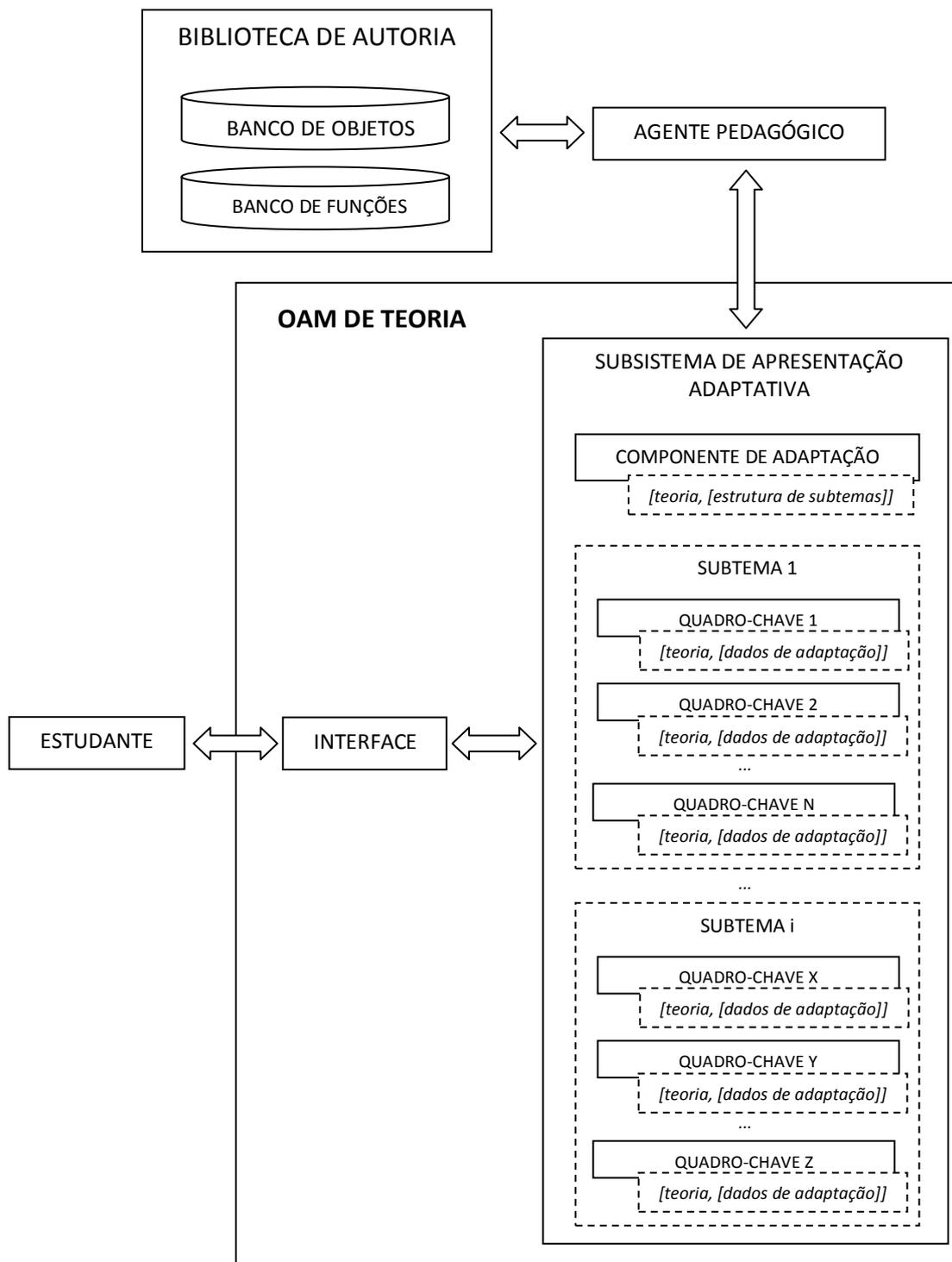


Figura 4.3 Estrutura de um OAM de teoria.

Uma representação do conhecimento por quadros (*frames*) foi proposta inicialmente por Marvin Minsky (1975), mas, os quadros aqui utilizados são diferentes conceitualmente, pois são mais relacionados com os quadros e quadros-chave (*keyframe*) dos programas de programação visual. Desse modo, um OAM de teoria deve ser dividido em subtemas que,

por sua vez, estão organizados em quadros-chave. Os quadros-chave também podem ser compostos de vários quadros.

Enquanto que na teoria de quadros de Minsky as informações sobre os dados estão armazenados nos chamados *slots* de quadros, os dados internos de um OAM estão registrados em seus componentes (objetos internos) e quadros-chave. Mais especificamente, em um OAM de teoria deve haver um componente de adaptação onde estão definidas as estruturas de subtemas com base nas diferentes abordagens pedagógicas (similar à estrutura de quadros de Minsky). Nesse componente de adaptação também devem estar definidos as ordem de apresentação para cada estratégia de ensino e a ocultabilidade dos quadros-chave, isto é, para qual nível de estudante um quadro-chave pode ser ocultado.

Sendo assim, a estrutura de um componente de adaptação de um OAM de teoria deve conter: [*Inteiro: teoria*, [*Inteiro: estrutura de subtemas*]]. Onde *teoria* refere-se à teoria de aprendizagem, neste trabalho, Behaviorismo (1) ou aprendizagem significativa (2) e a *estrutura de subtemas* em cada caso. Também é necessário identificar a ocultabilidade dos subtemas, uma opção seria a seguinte estrutura: [*ocultabilidade*]. Por exemplo:

estrutura=[[1, [1,2,3,4,5,6,7]],

[2, [[[1],[2,7],[3,4],[5,6]], [[1,2,3],[1,2,4,5],[1,2,4,6],[1,7]]]

ocultabilidade=[5, 5, 5, 2, 4, 2, 5]

Nesse caso foram especificadas duas estruturas, uma para a teoria 1 em que o conteúdo está estruturado linearmente e em sentido gradativo da complexidade com 7 subtemas. Além disso, é especificada outra estrutura bidimensional para a teoria 2 com a determinação dos níveis de cada subtema e da ligação teórica entre os subtemas conforme figura 4.4. O vetor *ocultabilidade* relaciona cada subtema à possibilidade de ser apresentado a um determinado perfil de estudante e na figura 4.4 esses valores estão identificados ao lado de cada subtema em uma caixa de texto com contorno tracejado.

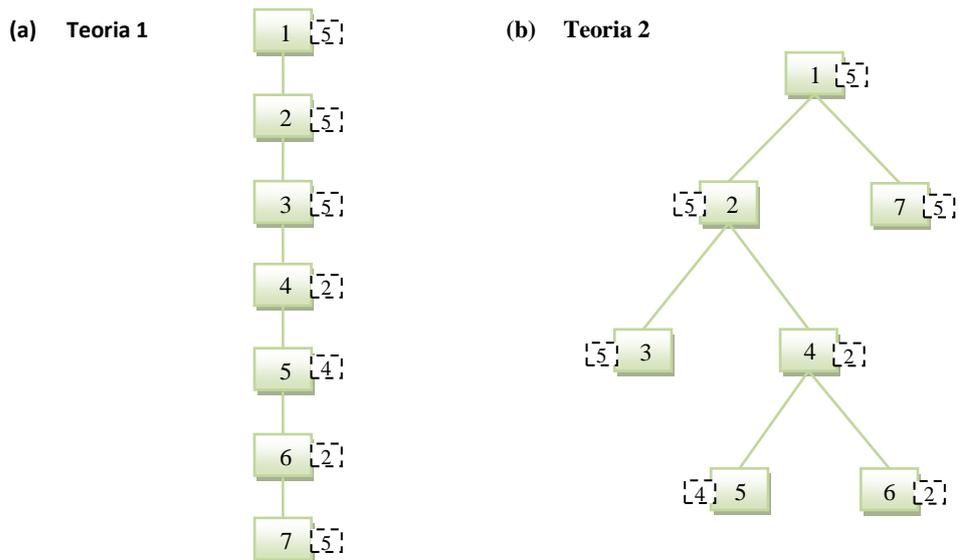


Figura 4.4 Estrutura de subtemas em teorias de aprendizagem diferentes.

No mesmo componente de adaptação devem ser definidos os quadros-chave que compõe cada subtema: $[[teoria, [quadro-chave, ocultabilidade]]]$, onde *teoria* representa a teoria de aprendizagem e, para cada teoria, tem-se um vetor multidimensional com a sequência de *quadros-chave* e suas respectivas *ocultabilidades*. Como esse exemplo é muito complexo, será apresentado na tabela 4.1:

Tabela 4.1 Dados do componente de adaptação referentes aos quadros-chave e subtemas.

TEORIA 1				
Subtema 1				
Quadros-chave	1			
Ocultabilidade	5			
Subtema 2				
Quadros-chave	2	3	5	
Ocultabilidade	5	5	5	
Subtema 3				
Quadros-chave	6	8	11	12
Ocultabilidade	5	3	5	5
Subtema 4				
Quadros-chave	13	14		
Ocultabilidade	2	5		
Subtema 5				
Quadros-chave	15	16	17	
Ocultabilidade	5	2	5	
Subtema 6				
Quadros-chave	18			
Ocultabilidade	5			
Subtema 7				
Quadros-chave	19	20	21	
Ocultabilidade	5	5	5	

Tabela 4.1 Dados do componente de adaptação referentes aos quadros-chave e subtemas (cont.).

TEORIA 2				
<i>Subtema 1</i>				
Quadros-chave	1			
Ocultabilidade	5			
<i>Subtema 2</i>				
Quadros-chave	5	2	3	4
Ocultabilidade	5	5	5	5
<i>Subtema 3</i>				
Quadros-chave	11	12	7	9
Ocultabilidade	5	5	5	5
<i>Subtema 4</i>				
Quadros-chave	13	14		
Ocultabilidade	2	5		
<i>Subtema 5</i>				
Quadros-chave	15	16	17	
Ocultabilidade	5	2	5	
<i>Subtema 6</i>				
Quadros-chave	18			
Ocultabilidade	5			
<i>Subtema 7</i>				
Quadros-chave	19	20	21	22
Ocultabilidade	5	5	5	5

Vale notar na tabela 4.1 que o número de quadros-chave bem como seus identificadores podem ser distintos para um mesmo subtema, contudo, isso não é suficiente para definir uma estratégia educacional. Para completar a modelagem fina para um OAM de teoria, é necessário especificar e exemplificar como os dados são apresentados em um quadro-chave de algum subtema.

Os dados de adaptação de um quadro-chave são [*Inteiro: teoria, [dados de adaptação]*], onde deve ser estabelecida a *teoria* e também os *dados de adaptação* referentes aos objetos do quadro-chave. Sendo assim, segue um exemplo de como estariam organizados tais informações em um quadro-chave:

Tabela 4.2 Exemplo da especificação de variáveis de adaptação em um quadro-chave.

TEORIA 1	
<i>Variáveis</i>	<i>Valores</i>
Nível	1-5
Texto 1	“Condições de Equilíbrio”
Texto 2	“O objetivo deste item de nosso estudo é a identificação das condições de equilíbrio de uma partícula (ou ponto material). Inicialmente faremos a apresentação da equação de equilíbrio de partículas, onde seguiremos fazendo a apresentação de várias soluções de problemas e realizaremos algumas simulações.”
Botão 1	“Iniciar”

Tabela 4.2 Exemplo da especificação de variáveis de adaptação em um quadro-chave (cont.).

TEORIA 2	
Variáveis	Valores
Nível	1-5
Texto 1	“Condições de Equilíbrio”
Texto 2	“Até o momento trabalhamos com os vetores e, em especial, com a soma de vetores em duas dimensões. Para realizar esta operação, estudamos alguns caminhos possíveis: regra do paralelogramo, polígono e soma por componentes. Agora iniciaremos um novo estudo: o equilíbrio de partículas, mas, antes de discutirmos sobre o tema, vamos propor três desafios.”
Botão 1	“Ver Desafios”

A estrutura completa do exemplo para um OAM de teoria está apresentada na figura 4.5, onde os objetos representam o subtema seguido de seus respectivos quadros-chave. Os valores ao justapostos aos subtemas e quadros-chave em contorno tracejado especificam a ocultabilidade do objeto.

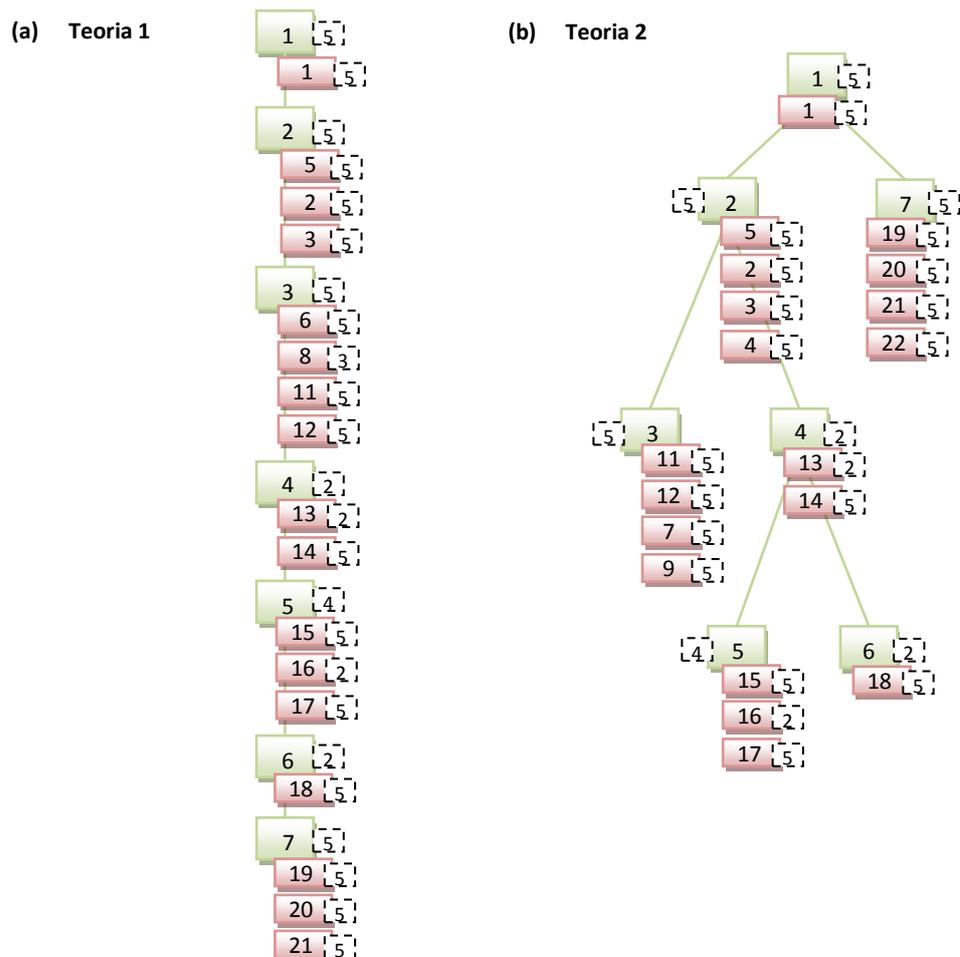


Figura 4.5 Estruturas de subtemas e quadros-chave de um OAM de teoria para duas abordagens didáticas distintas.

4.3.3 OAM de Teste

O OAM de teste tem o objetivo específico de verificar a aprendizagem do estudante por meio da aplicação de atividades objetivas e, com isso, dar um retorno para o STI-OAM sobre o nível de conhecimento e aprendizagem obtido pelo estudante na interação com o sistema educacional.

Como o grande foco de um OAM é a interação em tempo real com o sistema inteligente, será abordada a possibilidade de requisição de dados partindo do objeto para o sistema. Além disso, é discutida uma arquitetura para esse objeto para que seja possível também a sua adaptação pelo controle de um agente pedagógico. Um OAM também pode oferecer elementos para o agente de modelagem do perfil do estudante, contudo, o foco deste item do trabalho será a interação do OAM com o sistema pedagógico.

A arquitetura proposta para um OAM de teste está representada na figura 4.6 e deve possuir uma interface que interaja com o estudante e com o subsistema de questões. O subsistema de questões é formado por um banco de questões definidas para determinados níveis e estratégias pedagógicas que definem a forma de apresentação de uma questão e as respostas de incentivo à aprendizagem oferecidas pelo sistema em cada caso. Sendo assim, o teste deve ter relação direta com a teoria utilizada para a exposição do conteúdo, ou seja, o nível de compreensão e a sua estrutura são diferentes dependendo da abordagem utilizada. Além disso, o subsistema de questões pode requisitar o uso de funções e objetos para o agente pedagógico que faz uma busca dentro da biblioteca de autoria.

Outro aspecto é a questão bidirecional das requisições, ou seja, o objeto de aprendizagem faz a solicitação de funções e objetos ao agente pedagógico do STI-OAM, mas quem controla a forma de apresentação por meio de variáveis é o agente pedagógico.

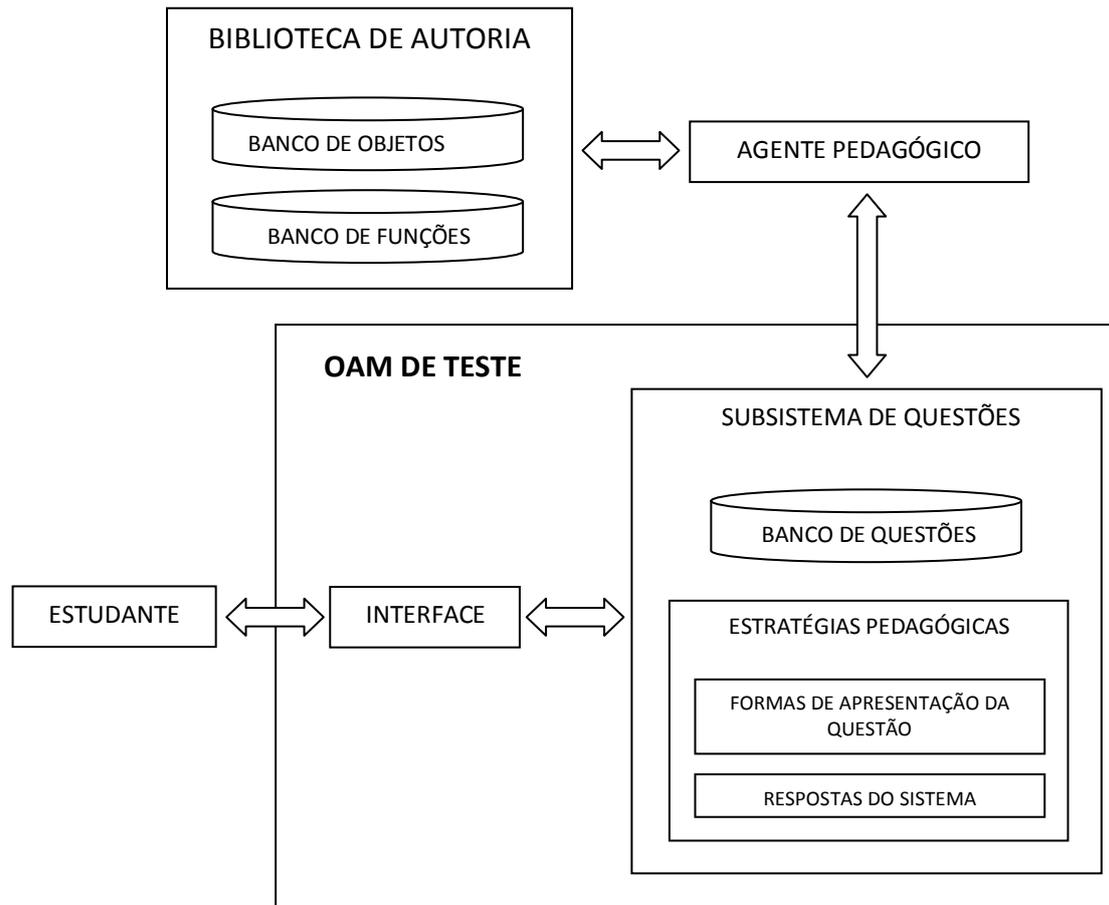


Figura 4.6 Estrutura de um OAM de teste.

Considere, por exemplo, o caso em que o agente de perfil do aluno identifique que o estudante possui um bom conhecimento sobre um determinado tema durante a execução de um OAM de teste. Com isso, o agente pedagógico solicita ao OAM questões de um nível mais complexo, com um determinado número de opções para escolha e com enunciado menos detalhado. Então, o OAM de teste faz a escolha do enunciado dentro de seu banco de dados, mas, para exibir as opções solicita uma determinada função para geração de opções ao agente pedagógico que, por sua vez, aciona a biblioteca de autoria.

Para que o OAM de teste funcione perfeitamente segundo a arquitetura já descrita, é necessário que o OAM seja projetado para se comunicar com o STI-OAM e isto pode ser feito por um componente que armazena variáveis de controle do sistema e que estão em um nível mais baixo dos demais componentes.

Apesar da arquitetura de um OAM de teste parecer um pouco complexa em um primeiro momento, a idéia segue justamente em sentido oposto: ser de fácil utilização por parte do professor.

Para finalizar a modelagem fina de um OAM de teste, é necessário especificar como o banco de questões é registrado e quais as informações fundamentais para registro e resgate. Como um OAM de teste faz parte de uma série de avaliações realizadas ao longo do curso, é provável que o banco de dados seja pequeno e os testes possam ser registrados no próprio objeto por meio de textos organizados em vetores ou em arquivos de texto a serem acessados pelo OAM. Se a quantidade de dados for grande, basta fazer o uso de um banco de dados que possa ser acessado pelo OAM. No caso de um OAM produzido em Flash, por exemplo, é possível fazer a interação com um arquivo XML ou *mySQL* sem maiores dificuldades.

Os dados para registro de um banco de questões são os seguintes [*Inteiro: ocultabilidade, Inteiro: tipo, [dados para geração de questões]*]. Onde *ocultabilidade* indica para que tipo de aluno deve ser apresentada a questão, variando de 1 (onde deve ser apresentada a alunos do nível 1) a 5 (deve ser apresentada a todos os níveis); *tipo* indica o tipo de função para geração de questões que será chamada na biblioteca de autoria.

4.3.4 OAM de Simulação

Não há dúvidas de que os simuladores, programas que constroem situações reais ou ideacionais (Tavares, 2003), são os mais ricos cognitivamente dentre os objetos de aprendizagem interativos, contudo, são os mais trabalhosos de se construir.

Para a criação de um simulador é necessário um conhecimento computacional e um conhecimento específico sobre as teorias que envolvem a situação a ser simulada, além dos métodos didáticos indicados em cada caso.

O simulador pode ser utilizado como organizador prévio para a aprendizagem significativa se proposto no início da interação do aprendiz com o curso on-line (Tavares, 2003) ou como um reforço à aprendizagem. Um organizador prévio é um dos elementos mais importantes para Ausubel e consiste em materiais introdutórios apresentados antes do

material a ser aprendido e que possuem um alto nível de abstração, generalidade e inclusividade. Tais elementos trabalham como organizadores da estrutura cognitiva do aprendiz para receber novas informações, como uma ponte cognitiva entre que o aprendiz já conhece e o novo conteúdo.

A arquitetura proposta para um OAM de simulação é similar à de um OAM de teste e está representada na figura 4.7. Um objeto desse tipo deve possuir uma interface que interaja com o estudante e com o subsistema de complexidade. O subsistema de complexidade por sua vez é formado por um componente que especifica as variáveis para controle do simulador e um componente que informa quais as condições esperadas de cada fase. Assim, o agente pedagógico pode influenciar em tempo real na execução do simulador, fazendo a alteração da complexidade com base no desempenho do estudante. O subsistema de complexidade pode ainda requisitar o uso de funções e objetos para o agente pedagógico que faz uma busca dentro da biblioteca de autoria.

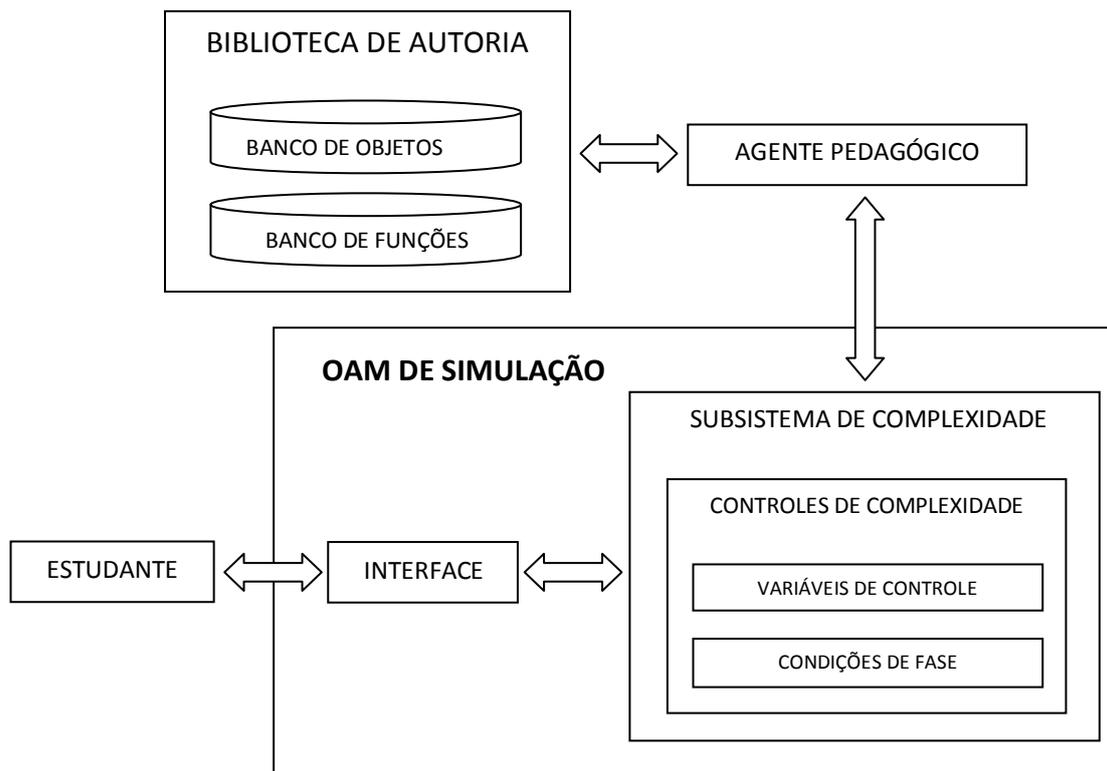


Figura 4.7 Estrutura de um OAM de simulação.

As variáveis de controle podem ser diversas e dependem do simulador a ser construído, mas, basicamente devem possuir: *[[variáveis de fase]]*. Onde devem ser especificadas as

variáveis que especificam, para cada fase do simulador, a alteração do nível de complexidade em relação ao nível do estudante. O componente de condições de fase especifica as condições de desempenho esperadas para realização de uma determinada fase segundo o nível do estudante seguindo a seguinte estrutura: *[[String: condições de fase]]*. Onde devem ser especificadas as variáveis para as *condições de fase* por meio de inequações representadas por literais em que um estudante de um determinado nível certamente realizaria as atividades previstas para uma fase específica.

4.3.5 Avaliação e Confiabilidade de um OAM

Em um STI, como em qualquer contexto educacional, as atividades de verificação de aprendizagem estão presentes e possuem caráter fundamental quanto à análise de caminhos potenciais apontados.

Com exceção de casos particulares, que serão analisados na discussão sobre a modelagem grossa do domínio, a avaliação direta neste trabalho é aquela em que o estudante realiza em um OAM de teste, ou seja, uma atividade de verificação de aprendizagem por meio de questões com múltiplas alternativas e o resultado de seu desempenho é a soma aritmética das respostas corretas. Já a avaliação indireta, também automática, é realizada pela análise dos OAM's de teste e dos nodos que estão próximos ao nodo que sofre avaliação direta e é muito importante para a quantização da rede. Um nodo é o agrupamento de OAM's sobre um determinado tópico da teoria e será trabalhado posteriormente nas modelagens média e grossa.

A avaliação indireta é uma forma análoga a utilizada na quantização de redes por meio das operações de fecho, contudo, com a adição do cálculo das confiabilidades das avaliações.

Se um aluno realiza uma atividade avaliativa de um nodo por meio de um OAM de teste, esta avaliação se reflete sobre os demais OAM's de teste e nodos que fazem conexão com o OAM atual por terem sido especificados com ligação teórica. Ao mesmo tempo em que esta avaliação automática é realizada, deve ser feito um cálculo sobre a confiabilidade da avaliação.

Como um OAM pode sofrer várias avaliações, tanto diretas quanto indiretas, é preciso determinar como serão feitas essas composições de notas. Sendo assim, para caracterizar a avaliação A de um OAM, a solução mais simples é a realização de uma média ponderada conforme se segue:

$$A = \frac{P_1 A_0 + P_2 A_{0M}}{P_1 + P_2}$$

Onde A_0 representa a nota anteriormente atribuída a um OAM, A_{0M} representa a primeira nota sugerida para a avaliação indireta, P_1 e P_2 são ponderações referentes à antiga confiabilidade C_0 da avaliação do OAM ($0 < C_0 < 1$). A confiabilidade é uma variável que indica a representatividade do valor atribuído a um nodo e será explicada em detalhes ao se explanar sobre o primeiro cálculo do grau de confiabilidade para a primeira avaliação.

Fazendo $P_1 = C_0$ e $P_2 = 1 - C_0$, tem-se:

$$A = C_0 A_0 + (1 - C_0) A_{0M}$$

Para o cálculo de A_{0M} , basta utilizar a proporção entre a nota A_1 do OAM de origem e o grau de liberdade K_a , ($0 \leq K_a \leq 5$), que indica a variação máxima que pode ocorrer no valor de A_0 . Desta análise, encontra-se o valor de A_{0M} :

$$A_{0M} = A_0 + (A_1 - A_0) \frac{K_a}{5}$$

E o valor da nota final calculada é finalmente dado por:

$$A = C_0 A_0 + (1 - C_0) \left(A_0 + (A_1 - A_0) \frac{K_a}{5} \right)$$

Ou

$$A = A_0 + (1 - C_0) (A_1 - A_0) \frac{K_a}{5} \quad (4.1)$$

Em um exemplo onde $K_a = 5$, $A_0 = 3$, $C_0 = 0,7$ e $A_1 = 4$, então a nova nota calculada será $A = 3,3$. É possível perceber que apesar do alto grau de liberdade $K_a = 5$, a nota calculada A ficou próxima de A_0 devido ao valor de C_0 . Em um segundo exemplo, fazendo $K_a = 5$, $A_0 = 3$, $C_0 = 0,3$ e $A_1 = 4$, a nova nota será $A = 3,7$, que é mais próxima da A_0 que de A_1 devido ao alto grau de confiabilidade e pelo valor relativamente baixo de K_a .

Voltando à discussão acerca da avaliação indireta dos OAM's e dos nodos anteriores ao que sofre uma avaliação direta, optou-se, como primeiro modelo, pela análise linear:

$$K_a = \begin{cases} \frac{K_{a0}}{v_{ax}} (v_{ax} - x), & 0 \leq x \leq v_{ax} - 1 \\ 0, & c. c. \end{cases} \quad (4.2)$$

Onde $x = d - 1$, K_{a0} é uma constante que representa o valor máximo de K_a (liberdade de alteração da nota do OAM imediatamente anterior ao de origem), v_{ax} é o limite de visibilidade (que determina quantos OAM's serão afetados pela avaliação indireta dentro de um mesmo nodo) e d é a distância entre o OAM que está sofrendo uma avaliação indireta e o OAM de origem desconsiderando OAM's intermediários que não sejam de teste.

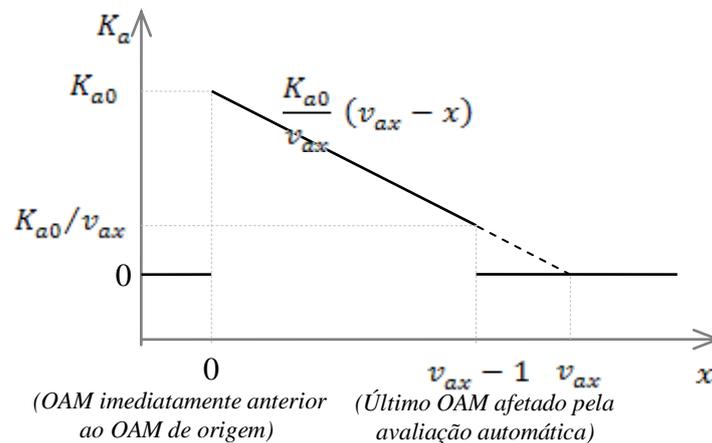


Figura 4.8 Gráfico da variação do coeficiente de avaliação indireta em relação à posição do OAM.

Por inspeção do gráfico, nota-se que o último nodo a ser afetado pela avaliação automática estará a uma distância $d = v_{ax}$, ou $x = v_{ax} - 1$, e será aplicado um grau de liberdade $K_a = K_{a0}/v_{ax}$.

Outra possibilidade sobre o grau de liberdade da avaliação automática é a alteração do declive da reta que determina o seu efeito sobre os OAM's de teste mais distantes do OAM original:

$$K_a = \begin{cases} \frac{K_{a1} - K_{a0}}{v_{ax} - 1} x + K_{a1}, & 0 \leq x \leq v_{ax} - 1 \\ 0, & \text{c. c.} \end{cases} \quad (4.3)$$

Onde K_{a1} é uma constante que representa o valor de K_a para o último nodo a ser afetado pela avaliação automática ($0 < K_{a1} \leq K_{a0}$). Note que o OAM de número v_{ax} (limite de visibilidade) está a uma distância $d = v_{ax}$ do OAM de origem e, como a variável x é dada por uma translação de d em uma unidade, tem-se $x = d - 1$. Portanto, o denominador do coeficiente angular da reta é decrescido de uma unidade $v_{ax} - 1$.

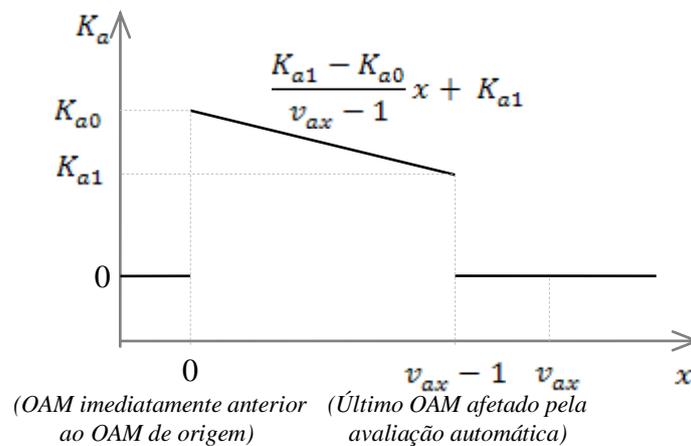


Figura 4.9 Gráfico da variação do coeficiente de avaliação indireta em relação à posição do OAM.

4.3.5.1 Confiabilidade da avaliação direta

O termo confiabilidade figura com diferentes definições para diversos contextos: confiabilidade estatística, confiabilidade metrológica, confiabilidade da avaliação,

confiabilidade do processamento auditivo, confiabilidade de sistemas computacionais, dentre outros. Mesmo assim, a confiabilidade está sempre associada ao grau de veracidade de algo, seja uma informação, um serviço ou algum produto.

Para a confiabilidade de uma avaliação direta realizada em um OAM de teste, muito importante para a modelagem do domínio neste trabalho, foi utilizada uma formulação de estatística inferencial já conhecida dos pesquisadores. A idéia é utilizar esse coeficiente de confiabilidade para fornecer o grau de consistência interna da avaliação.

Uma possibilidade é utilizar o método em que se divide a avaliação em duas metades que contenham o mesmo grau de dificuldade, faz-se o cálculo da correlação entre os dois conjuntos de dados e, depois, se aplica um ajuste para o tamanho total de itens (Wigdor & Greem Jr, 1991; Brinckmann, 2004).

Para o cálculo da correlação entre os itens das duas metades da avaliação utiliza-se o coeficiente de correlação momento-produto de Pearson:

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{(n - 1)s_x s_y} \quad (4.4)$$

Onde x representa a distância entre o escore do aluno e a média obtida pela primeira metade das questões, y é a distância entre o escore do aluno e a média da segunda metade, n é o número de estudantes, s_x é o desvio-padrão referente a x e s_y é o desvio-padrão referente a y .

Após o cálculo de r_{xy} , é necessário fazer um refinamento de modo a ser considerado um resultado para as duas metades da avaliação, assim, utiliza-se o coeficiente de Spearman-Brown:

$$\rho = \frac{2r_{xy}}{1 + r_{xy}} \quad (4.5)$$

O problema do cálculo da confiabilidade pela partição ao meio é que existe a necessidade de construir uma avaliação com duas metades com graus de dificuldades similares e os

itens não são considerados individualmente. Particularmente, para o projeto do STI-OAM, isto seria mais um ponto de conflito para uma possível utilização prática.

Sendo assim, uma segunda possibilidade seria a de avaliar a correlação entre todos os itens, item a item, e, para isso, são usadas as fórmulas “20” e “21” de Kuder-Richardson.

A “fórmula 20” requer um esforço computacional maior que a “fórmula 21” e, por isto, nesta tese será apresentada apenas a segunda equação que é dada por:

$$\rho_{KR21} = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{M(k-M)}{k s_{xx}^2} \right) \quad (4.6)$$

Onde k é o número de questões, M é a média dos escores obtidos pelos alunos e s_{xx}^2 é a variância corrigida em torno da média, dada por

$$s_{xx}^2 = \frac{\sum x^2}{n-1} \quad (4.7)$$

E, neste caso, diferentemente da definição utilizada para o cálculo da confiabilidade pelas duas metades, x representa a distância entre o escore de cada estudante e a média.

4.3.5.2 Casos especiais de avaliação indireta em OAM's de teste

Conforme será visto na modelagem grossa do domínio, em que uma proposta para a quantização de redes será apresentada, a avaliação de um nodo é fundamental para a decisão de percursos educacionais. Para a quantização da modelagem grossa serão utilizados alguns coeficientes e um deles depende da avaliação dos nodos e é apresentada também uma proposta para a avaliação indireta dos nodos, similar ao que será exposto para os OAM's de teste.

Sendo assim, quando houver uma modificação na avaliação N_i de um nodo i da rede, esta avaliação deve ser refletida nos OAM's de teste internos ao nodo. Sendo assim, um OAM k terá sua avaliação A_k alterada segundo a seguinte ponderação:

$$A_k = \frac{A_{k0} + 1}{\sum_{j=1}^m A_{j0} + m} N_i \quad (4.8)$$

Onde A_{j0} representa a avaliação anterior de um OAM de teste j e m é o número de OAM's de teste de um nodo.

4.3.5.3 Confiabilidade da avaliação indireta

Ao se alterar a nota de um OAM, é necessário fazer também uma alteração na confiabilidade da nova nota. Neste trabalho, o valor da confiabilidade C é dado por:

$$C = \frac{pC_0 + C_{0M}}{p + 1}$$

A ponderação referente à confiabilidade anterior C_0 deve ser proporcional ao número de avaliações realizadas n_a . Uma solução simples seria $p = n_a + 1$ (o incremento de uma unidade no valor de p é um artifício usado para reduzir o impacto da primeira avaliação), portanto,

$$C = \frac{(n_a + 1)C_0 + C_{0M}}{n_a + 2}$$

Para o cálculo da confiabilidade da avaliação indireta C_{0M} , deve-se considerar a variação entre a nota anterior A_0 e a nova avaliação A , devendo aumentar no caso de $A_0 = A$, pois, nesta situação, a nova avaliação confirma o valor obtido anteriormente. Em direção oposta, se $|A_0 - A| \gg 0$, a confiabilidade deve ser reduzida, visto que houve uma alteração brusca da nota. Além disso, a confiabilidade calculada para a avaliação indireta C_1 deve estar situada no intervalo $0 \leq C_1 \leq 1$ e, para isso, considera-se que $0 \leq |A_0 - A_1| \leq 10$ e $0 \leq |A_0 - A| \leq 10$. Uma solução possível é $C_{0M} = 1 - 0,1|A_0 - A_1|$, mas, como a confiabilidade C_1 da nota da avaliação direta também tem influência sobre a confiabilidade final, uma boa alteração seria $C_{0M} = C_1(1 - 0,1|A_0 - A_1|)$. Substituindo no cálculo de C , tem-se:

$$C = \frac{(n_a + 1)C_0 + C_1(1 - 0,1|A_0 - A_1|)}{n_a + 2} \quad (4.9)$$

Os valores simulados anteriormente para o cálculo da avaliação indireta, $K_a = 5$, $A_0 = 6$, $C_0 = 0,7$ e $A_1 = 8$, resultou em $A = 6,6$. Com o novo valor de A e utilizando $n_a = 1$ e $C_1 = 0,6$ é possível determinar o novo valor da confiabilidade desta nota que é $C = 0,64$. Em um segundo exemplo, fazendo $K_a = 5$, $A_0 = 6$, $C = 0,3$ e $A_1 = 8$, a nova nota será $A = 7,4$. Contudo, utilizando $n_a = 1$ e $C_1 = 0,6$, a confiabilidade sobe para $C = 0,39$.

4.4 MODELAGEM MÉDIA: HEURÍSTICA

Ao determinar o acesso a um nodo, o agente pedagógico do STI-OAM deve também especificar qual OAM deve ser acessado e qual o caminho a ser percorrido pelo estudante posteriormente de acordo com suas interações com o sistema educativo.

Sendo assim, a estrutura de organização dos OAM's dentro de um nodo bem como as variáveis de representação do nodo devem ser especificadas. Para um nodo da rede, tem-se a seguinte estrutura: *[String: título],[String: palavras-chave],[String: OAMs]*, onde estão representados o *título* do nodo, a lista de *palavras-chave* referentes aos conceitos trabalhados e uma lista de identificadores dos *OAMs* que contém. A modelagem média (figura 4.10) tem uma característica muito importante que é a ordem de acesso para o estudante em fluxo normal.

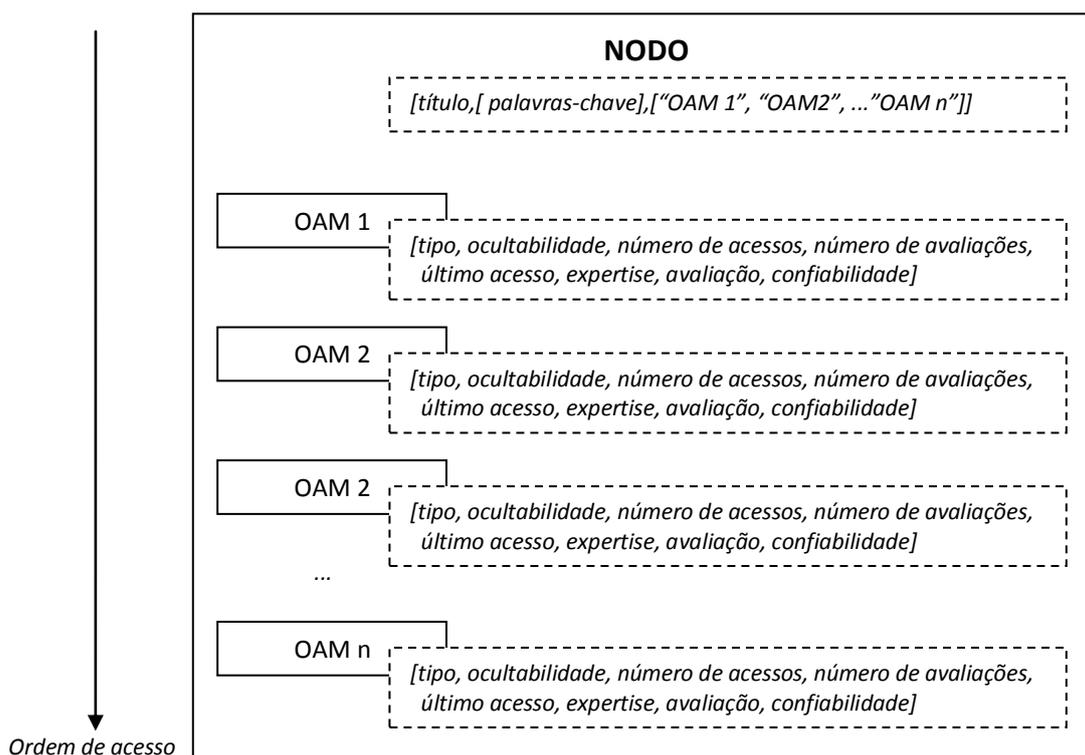


Figura 4.10 Arquitetura de um nó da rede.

Utilizando como exemplo a soma de vetores, seria possível haver um nó especificado como:

$n_{012} = [“soma de vetores (componentes cartesianas)”, [“soma”, “vetor”, “componente”], [“id_005”, “id_006”]]$.

Nesse exemplo, as variáveis id_{005} e id_{006} representam os arquivos que fazem parte do nó e, por sua vez, também possuem metadados que o especificam como elemento da rede e que já foram especificados anteriormente.

Como a arquitetura de um nó é bastante simples ao ser comparada com as modelagens fina e grossa, funções de heurística podem facilmente especificar o acesso aos OAM's com base na ordem de acesso preestabelecida nos metadados do nó e nos critérios de nível dos OAM's.

Não é o escopo deste trabalho a definição de funções para a definição dos OAM's já que fazem parte das funções do agente pedagógico, mas proporcionar informações suficientes

para as decisões. Mesmo assim, como nesta fase de modelagem do domínio os OAMs pertencentes a um nodo são especificados em uma única dimensão e com ordem de acesso predeterminada, OAMs de teoria sendo seguidos de OAMs de teste, é possível identificar um algoritmo simples baseado na experiência que tenha por base a avaliação de um OAM de teste. Tal função teria base na avaliação classificada como satisfatória e, desse modo, seguiria para o próximo nodo do fluxo e, caso contrário, seguiria para um nodo mais indicado em contra fluxo. A função heurística deveria conter elementos para decidir se o OAM de teoria seria o imediatamente anterior, outro do mesmo nodo ou acionar novamente o subsistema da modelagem grossa para decidir o acesso a outro nodo.

Além das regras heurísticas que determinam o acesso aos nodos e que devem contemplar o número de acessos, a avaliação e a ocultabilidade do OAM em confronto com o nível, o estilo e os objetivos do estudante, são fundamentais que existam componentes de aprendizagem com base estatística para fazer um reajuste na ponderação de tais regras. As funções heurísticas fazem parte do conteúdo clássico da inteligência artificial e vários artigos dentro do contexto da Engenharia trabalham as funções heurísticas em conjunto com outras técnicas (Peponis & Papadopoulos, 1995; Kagan & Barioni, 1998; Amasifen, Romero & Mantovani, 2005).

As funções heurísticas para o subsistema do agente pedagógico devem também especificar o acionamento do subsistema de modelagem grossa com a finalidade de especificar o acesso a um novo nodo.

4.5 MODELAGEM GROSSA: REDES QUANTIZADAS

No desenvolvimento da modelagem grossa foi proposta uma modificação na teoria conhecida como quantização de redes e operações de fecho de modo a contemplar as características necessárias para a modelagem do domínio de conhecimento que possa ser utilizada em um STI-OAM. A quantização de redes é um modelo bastante elegante e de fácil entendimento, contudo, seu foco de aplicação original é bastante diferente do escopo deste trabalho. Sendo assim, serão utilizados os conceitos principais, mas fazendo as

modificações necessárias para o contexto educacional e esse novo modelo é defendido como maior fator de inovação desta tese.

Na quantização de redes original, cada ligação entre os nodos da rede possui um valor associado e, de acordo com que são feitos mais acessos de um nodo para outro, é incrementado um valor predeterminado. Também é possível atribuir um decréscimo na quantização dessas ligações com dependência temporal causando a deterioração da rede quantizada com o objetivo de caracterizar tendências de acesso mais recentes. Além disso, são propostas algumas outras formas de alteração no valor atribuído às ligações da rede chamadas de operações de fecho, dentre as quais, destacam-se os fechos cíclico, transitivo, sobrejetor e sobrejetor inverso (Palazzo, 2000).

Em Palazzo (2000), o objetivo das redes quantizadas associadas às operações de fecho é o de representar os processos dinâmicos de navegação na web e obter um sistema adaptativo proativo capaz de antecipar possíveis estados futuros da rede. O objetivo então é utilizar a idéia desta associação para possibilitar um comportamento inteligente do STI-OAM em um repositório de cursos on-line.

O primeiro grande desafio é como quantizar as ligações entre os nodos utilizando apenas variáveis relacionadas aos nodos e não às ligações, visto que ainda não haverá tido o acesso entre os nodos potencialmente significativos para o aprendiz. Por exemplo, se um aluno está acessando um nodo que diz respeito à decomposição de vetores, o próximo a ser acessado poderá ser sobre a soma de vetores utilizando componentes cartesianas, mas, este nodo ainda não foi acessado e não existe uma quantização diferenciada da ligação entre os dois.

A solução apresentada neste trabalho é a de calcular o potencial de ativação entre os nodos por meio da menor distância entre o nodo atual e os demais. O caso mais simples de um encadeamento unidimensional em que se deseja promover uma quantização para os nodos da rede a partir do nodo atual é mostrado na figura 4.11.

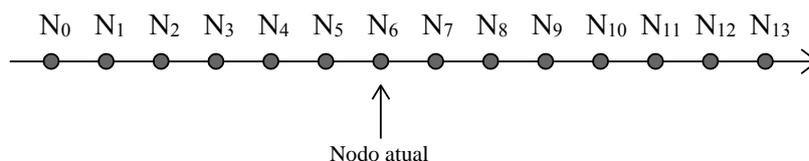


Figura 4.11 Análise de uma rede unidimensional de baixa complexidade.

Se o nodo atual é o nodo $N6$, então os mais próximos são os nodos $N5$ e $N7$, depois os nodos $N4$ e $N8$ e assim por diante. Se existe um fluxo normal para os nodos (representado na figura 4.11 por uma seta da esquerda para a direita), em uma análise bastante simplificada é possível concluir que, se a avaliação no nodo $N6$ for igual ou superior à esperada, o usuário seria enviado ao nodo $N7$ e, caso contrário, ao nodo $N5$ (mesma análise dos primeiros modelos CAI). Isto indica a possibilidade de utilizar a análise da rede para sugerir o melhor caminho a ser realizado pelo estudante, contudo, ainda é necessário especificar quais variáveis e condições especiais serão utilizados para quantizar a rede.

Além dos OAM's e os nodos já descritos anteriormente, outros elementos devem ser trabalhados para minimamente caracterizar a modelagem grossa segundo os preceitos já defendidos, são eles: blocos coesos e sistema de hierarquia de blocos.

4.5.1 Blocos Coesos e Sistema de Hierarquia de Blocos

Nesta tese é considerado o projeto de um STI que possa ser aplicado em um repositório de cursos on-line e, sendo assim, o caminho realizado pelo aprendiz dentro da plataforma e seus objetivos ao acessar um curso específico devem ser contemplados na modelagem do domínio.

Geralmente, aplica-se um teste inicial para levantar o perfil do aluno e por meio de suas características e interesses, modifica-se a apresentação do conteúdo. Todavia, neste novo contexto de aplicação, o STI-OAM deve ponderar acerca dos objetivos do usuário ao acessar um determinado curso.

Como exemplo, considere um curso sobre frações ordinárias que foi desenvolvido inicialmente para um público-alvo de alunos de ensino fundamental e que terão um primeiro contato sobre este tópico. Desconsiderando casos singulares, um aluno de ensino fundamental tem o interesse de entender o que pode ser representado por meio das frações

e deve levar um bom tempo com exemplos e exercícios, raciocinando e criando esquemas de assimilação para esta única informação. Além disso, terá que aprender as quatro operações básicas para as frações e, para tanto, seria recomendável utilizar exemplos que contextualizem tais operações com situações em que o aluno possui contato.

Outra possibilidade seria de um aluno de ensino superior que está estudando sobre derivadas em outro curso do repositório e, em dado momento, o STI-OAM (ou o próprio aluno) detecta que o aprendizado está dificultado por causa de uma falha em um requisito: a soma de frações. Então, o aluno realiza uma pesquisa na plataforma e faz inscrição em outro curso com o objetivo específico de relembrar como se realiza a soma de frações. Nota-se que não é necessário motivar este aluno sobre as aplicações de frações e tão pouco fazer um intróito sobre o que pode ser representado por meio de frações. Então, seria recomendado que o aluno tivesse um ensinamento behaviorista rápido e direto no ponto em que tem interesse para que possa voltar a trabalhar no seu curso principal de derivadas.

Ainda um terceiro exemplo possível seria o de um professor da educação presencial inserir seu curso no repositório on-line e utilizá-lo como recurso de apoio. Com isso, o professor poderia sugerir a algum de seus estudantes que acessasse o curso para aprofundar em algum tópico específico.

Para isso, será utilizada a idéia que será denominada neste trabalho de blocos coesos. Nesses blocos, a idéia é agrupar os conceitos interligados e que não podem ser ensinados separadamente. Por exemplo, a decomposição de vetores e a soma de vetores por componentes formam um bloco coeso. Em contrapartida, a soma de vetores pela Regra do Paralelogramo e por componentes não formam um bloco coeso, apesar de haver uma ordem sugerida para a aprendizagem. Desse modo, um aluno poderá acessar a soma de vetores por componentes sem ter que estudar sobre a regra do paralelogramo.

Além disso, podem existir formas diferentes de abordar um mesmo tópico, por isso, deve haver uma hierarquia de blocos coesos de modo a especificar um índice de importância de cada abordagem.

4.5.1.1 Hierarquia de blocos coesos

Se existem blocos coesos com abordagens diferentes sobre um mesmo tópico, eles devem ser especificados em ordem de importância. Por exemplo, um bloco que especifica a soma vetorial por componentes cartesianas tem precedência sobre a soma vetorial por regra do paralelogramo, pois é a mais utilizada. Isto significa que um estudante que desejasse aprender sobre o tema “soma vetorial” poderia, de acordo com a análise feita pelo STI, estudar preferencialmente o primeiro bloco.

Neste trabalho, a hierarquia de blocos é caracterizada por uma lista de níveis onde em cada um desses níveis também é possível haver uma lista de blocos. Sendo assim, um sistema que utilize a idéia de hierarquia de blocos poderia fazer a seguinte definição de variável:

$$\text{hierarquia_blocos} = [[\text{blocos do nível 1}], [\text{blocos do nível 2}], \dots, [\text{blocos do nível n}]]$$

Por exemplo, em um sistema que estivesse definido $\text{hierarquia_blocos} = [[\text{“bl_01”}, \text{“bl_03”}], [\text{“bl_02”}]]$, estariam definidos dois níveis, ou seja, os blocos bl_01 e bl_03 têm preferência, de acordo com a análise realizada pelo STI, em relação ao bloco bl_02 .

Um bloco coeso é caracterizado neste trabalho por nodos dependentes e independentes e é descrito por duas listas: uma de nodos dependentes e outra de nodos independentes. Sendo assim, uma variável de bloco coeso seria definida como: $[[\text{nodos dependentes}], [\text{nodos independentes}]]$.

Em relação ao exemplo de soma de vetores, uma possibilidade para descrição do bloco bl_03 seria: $\text{bl_03} = [[\text{“n_05”}], [\text{“n_03”}]]$, onde n_05 é o identificador do nodo “soma de vetores por componentes cartesianas” e n_03 é o do nodo “decomposição de vetores”. Nesse caso, o nodo n_05 deve ser trabalhado junto com n_03 , mas, n_03 não possui dependência com n_05 .

No exemplo do bloco bl_03 , caso n_03 e n_05 dependessem um do outro, não devendo ser trabalhados separadamente, seria definido assim: $\text{bl_03} = [[\text{“n_03”}, \text{“n_05”}], []]$. Ou seja, haveria uma lista vazia para os nodos independentes. Vale lembrar que a representação dos nodos já foi definida anteriormente.

4.5.2 Avaliação e Confiabilidade

A quantização da rede depende diretamente da avaliação e da confiabilidade dos nodos que a compõe. Se um OAM de teste sobre uma avaliação direta, então a avaliação dos demais OAM's do nodo sofrem alteração e a avaliação do nodo também é afetada. Uma forma possível é fazer:

$$N = \frac{\sum_{j=1}^m A_j}{m}$$

Em que m é o número de OAM's de teste do nodo e A_j a avaliação de um nodo j . Contudo, como todos os OAMs de teste de um OAM sofrem uma avaliação indireta, é preciso recalculer os valores das novas avaliações antes de proceder com o cálculo da avaliação do nodo.

Do mesmo modo que foi abordado com os OAM's de teste, os nodos também devem sofrer uma avaliação indireta e é possível seguir com a mesma análise anterior:

$$N = N_0 + (1 - C_0)(N_1 - N_0) \frac{K_a}{5} \quad (4.10)$$

e

$$K_a = \begin{cases} \frac{K_{a0}}{v_{ax}} (v_{ax} - x), & 0 \leq x \leq v_{ax} - 1 \\ 0, & c. c. \end{cases} \quad (4.11)$$

Onde C_0 representa a confiabilidade da avaliação do nodo; K_a especifica o coeficiente de liberdade de alteração de nota e é o mesmo especificado para os OAM's; v_{ax} é o limite de visibilidade para nodos (que determina quantos nodos serão afetados pela avaliação indireta); e $d = x + 1$ é a distância entre o nodo que está sofrendo uma avaliação indireta e o nodo de origem dentro de um bloco coeso.

Em termos de quantização, a avaliação indireta pode ser considerada uma operação de fecho e é fundamental para caracterização da rede.

4.5.2.1 Confiabilidade da avaliação direta

Sendo o nodo formado por vários OAM's, quando um OAM de teste sofre uma avaliação direta, a confiabilidade do nodo deve ser atualizada e uma solução possível é:

$$C = \frac{\sum_{j=1}^m C_j}{m} \quad (4.12)$$

Onde m é o número de OAM's de teste de um nodo e C_j a confiabilidade do OAM j . Antes de aplicar a fórmula, as confiabilidades indiretas dos OAM's reavaliados devem estar atualizadas.

4.5.2.2 Caso especial para nodos sem OAM de teste

Existe um caso especial em que a avaliação de um nodo deve ser considerada de modo diferenciado:

- **Nodo sem OAM de teste:** se um nodo não possuir um arquivo específico para avaliação, considera-se apenas o acesso ao conteúdo do nodo como avaliação. Desse modo, a avaliação do nodo será dada pela razão entre o número de arquivos dentro do nodo que foram acessados e o total de arquivos do nodo. Um caso comum é o nodo de introdução ao curso que possui apenas um arquivo e, portanto, o simples acesso ao arquivo indica uma avaliação igual a 10 e confiabilidade de 100%.

4.5.2.3 Confiabilidade da avaliação indireta

Ao se alterar a nota de um nodo, é necessário fazer também uma alteração da confiabilidade associada. O cálculo do valor de C é calculado do mesmo modo que nos OAMs de teste já descritos anteriormente:

$$C = \frac{pC_0 + C_{OM}}{p + 1}$$

A ponderação referente à confiabilidade anterior C_0 deve ser proporcional ao número de avaliações realizadas n_a no nodo. Aplicando a mesma estratégia utilizada para a confiabilidade de um OAM, tem-se

$$C = \frac{(n_a + 1)C_0 + C_1(1 - 0,1|N_0 - N_1|)}{n_a + 2} \quad (4.13)$$

Onde C_{OM} é a confiabilidade da avaliação indireta; N_0 é a avaliação anterior do nodo; e N representa a nova avaliação do nodo.

4.5.2.4 *Influência temporal*

O tempo é uma variável muito recorrente das teorias de aprendizagem. No condicionamento operante ou instrumental, por exemplo, um dos princípios básicos é a apresentação de um reforço para algum comportamento de interesse. Quando a apresentação do reforço é eliminada, acontece o fenômeno chamado de extinção.

Como a modelagem de domínio proposta tem o objetivo de contemplar múltiplos modelos pedagógicos, é necessário utilizar a influência temporal na quantização da rede. Além disso, é importante verificar que o tempo é tratado de formas diferentes nas diversas teorias de aprendizagem e a modelagem da rede deve possuir flexibilidade suficiente para se adequar aos diversos modelos possíveis.

De modo análogo ao que ocorre na deterioração da rede quantizada em sistemas dinâmicos sem aplicações em STI, será realizado um decréscimo percentual da avaliação de um nodo quando o aluno não realiza acesso ao mesmo durante um determinado período. A função principal desse artifício é prover o sistema de informação suficiente caso um aluno fique um tempo considerável sem acessar o curso, podendo ter acessado ou cursado vários outros e, retornando ao curso, haver uma memória sobre o desempenho anterior, mas, sem afetar por demasiado uma nova retomada das atividades. Em outras palavras, a idéia é reduzir a inércia de uma nova série de avaliações diretas e indiretas após certo tempo sem acesso a um curso.

A nova avaliação N de um nodo com base no decréscimo por falta de acesso da nota anterior N_0 será dada por

$$N = (1 - p_\varepsilon)N_0 \quad (4.14)$$

Onde p_ε é o percentual de redução por falta de acesso dado por

$$p_\varepsilon = \begin{cases} 0, & t \leq t_m \\ \frac{t - t_m}{t_M - t_m} p_{\varepsilon\text{máx}}, & t_m < t < t_M \\ p_{\varepsilon\text{máx}}, & t > t_M \end{cases} \quad (4.15)$$

Onde t_m é o tempo mínimo para iniciar o processo de deterioração, t_M é o tempo máximo e $p_{\varepsilon\text{máx}}$ é o percentual máximo para redução da avaliação inicial.

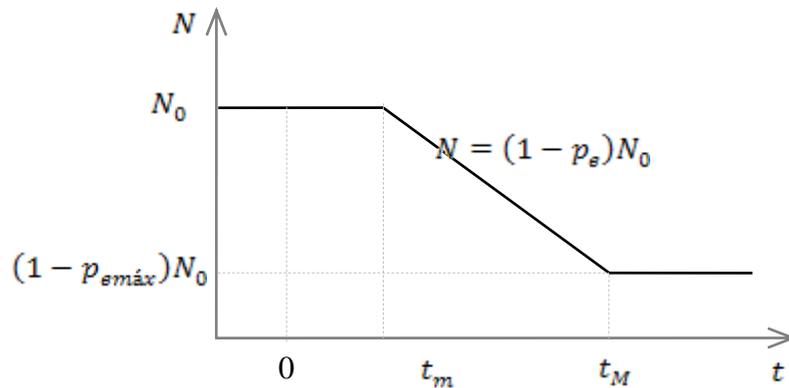


Figura 4.12 Variação da avaliação devido ao tempo de acesso.

Na quantização de rede original, os níveis de toda a rede são decrementados em um valor especificado de acordo com o tempo. A grande diferença é que um mesmo valor é aplicado a toda a rede e para um tempo suficientemente grande, toda a rede perde sua quantização, enquanto que o processo arquitetado para esta rede percebe um limite para decréscimo de modo que a rede perde em quantização, mas, independente do tempo, mantém a qualidade dos valores da rede.

Vale lembrar que toda alteração de avaliação de um nodo tem consequências na avaliação de cada OAM de teste segundo critérios já estabelecidos.

4.5.3 Modelagem do Domínio – Quantização das Ligações entre Nodos

Será dado prosseguimento à discussão iniciada sobre como utilizar a caracterização dos nodos da rede para torná-la uma rede quantizada. Vale lembrar que na quantização de redes original tem-se um valor associado às ligações entre nodos sem que haja nenhuma inferência diretamente sobre os nodos. Neste trabalho, o desafio está em quantizar a rede com base nos nodos já que não existem dados sobre as ligações entre nodos.

No primeiro exemplo deste capítulo (figura 4.1), foi considerada uma rede unidimensional de baixa complexidade, onde seria possível determinar o caminho potencialmente significativo com base em uma avaliação direta e a distância entre o nodo atual e os demais nodos da rede.

No caso do primeiro exemplo, se o nodo atual era o nodo $N6$, então os mais próximos seriam os nodos $N5$ e $N7$, depois os nodos $N4$ e $N8$ e assim por diante. Contudo, as demais informações (avaliação do nodo, confiabilidade da avaliação, hierarquia de blocos coesos, objetivos de aprendizagem, etc.) não influenciam no cálculo da menor distância entre os nodos. Uma questão natural subsequente a essa análise seria: como fazê-lo?

A solução proposta neste trabalho é a de considerar o problema no campo tridimensional, onde os nodos estão inicialmente em um plano diferente do nodo atual e cada variável altera a distância dos nodos da rede e o plano de origem. Ao final do reposicionamento dos nodos, faz-se o cálculo da distância entre os nodos e é possível realizar uma quantização instantânea da rede e fazer o sistema atuar de um modo inteligente sem ter que utilizar uma série de regras ou lógica adicional.

Para exemplificar a quantização proposta, considere uma rede com todos os nodos em $z=0$ e $N6$ sendo o nodo atual conforme figura 4.13. O exemplo considera apenas três alterações de nível dos nodos da rede que se referem a: blocos coesos, direção e avaliação.

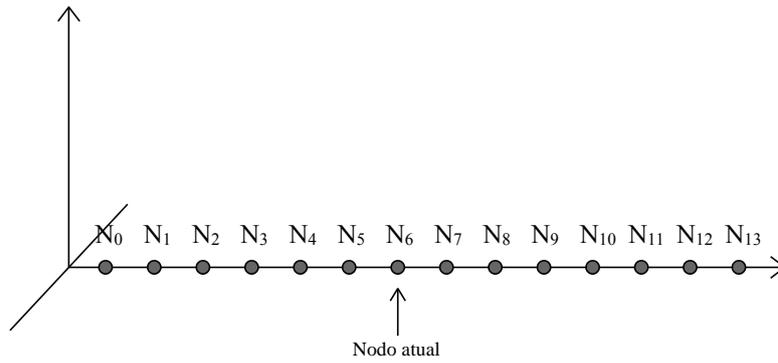


Figura 4.13 Análise da rede como um problema tridimensional.

Inicialmente, N_6 é colocado em um nível acima dos demais de modo que as alterações de posição dos nodos não ultrapassem o nível do nodo atual (figura 4.14).

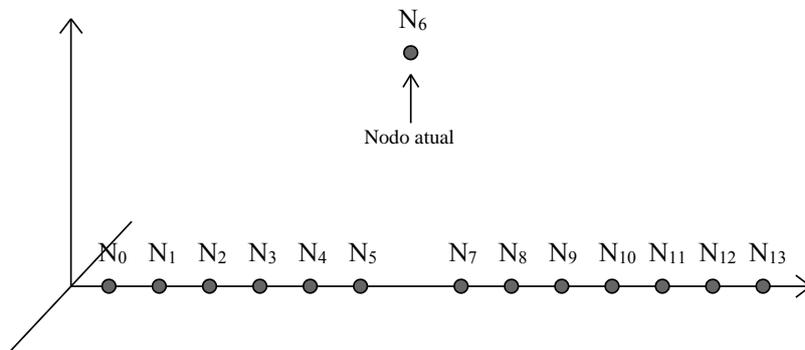


Figura 4.14 O nodo atual é deslocado para um nível acima dos demais.

Em seguida, todos os nodos que estão no mesmo bloco coeso que N_6 sofrem uma elevação de nível (figura 4.15). Vale enfatizar que o escopo deste trabalho é o de construir um modelo de domínio que possa ser utilizado por um STI-OAM e não especificar todos os agentes e variáveis do sistema. Sendo assim, a análise quantitativa das constantes que são aplicadas na alteração do nível dos nodos depende de um estudo minucioso que se refere à construção dos agentes pedagógicos.

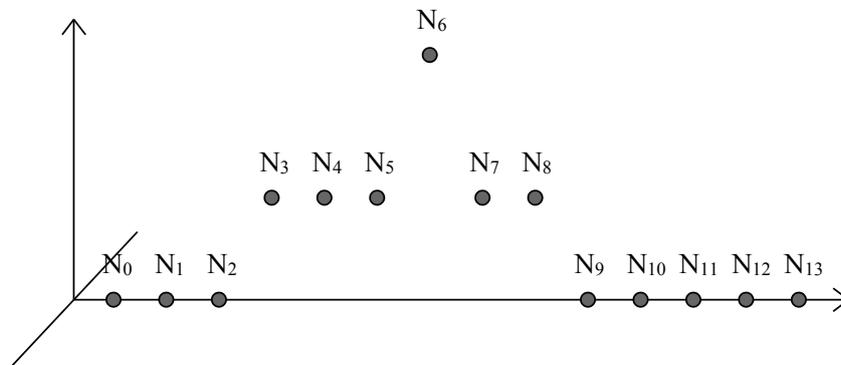


Figura 4.15 Alteração de nível dos nodos que estão no mesmo bloco coeso do nodo atual.

É possível fazer um tratamento melhor caso tenha sido definida uma hierarquia de blocos coesos e isso será abordado mais adiante neste capítulo.

Considerando nesse exemplo que o aluno obteve uma avaliação igual ou superior ao valor especificado como satisfatório, então todos os nodos que são posteriores a N_6 sofrem elevação de nível (figura 4.16).

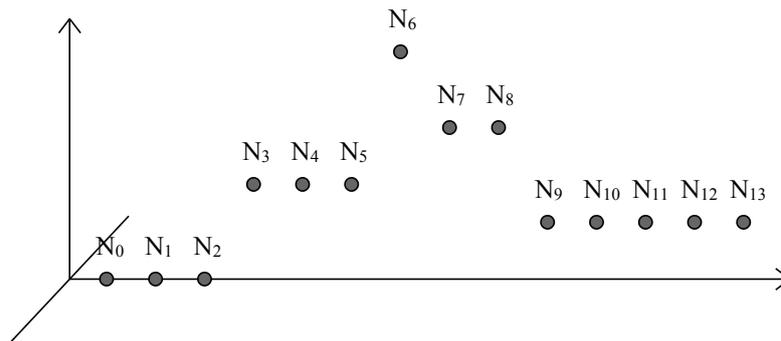


Figura 4.16 Alteração de nível dos nodos da rede com base na avaliação do nodo atual.

Um próximo passo possível seria reduzir proporcionalmente o nível dos nodos com base nas respectivas avaliações e confiabilidades (figura 4.17).

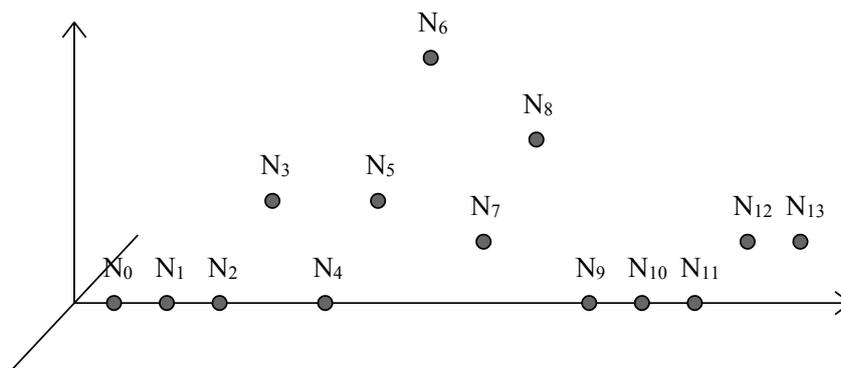


Figura 4.17 Redução proporcional do nível dos nodos segundo avaliação registrada.

Com base na nova configuração obtida, basta fazer o cálculo da distância entre os nodos e, desse modo, conclui-se que é possível fazer a quantização por meio do nodo mais próximo que, no exemplo dado e ilustrado na figura 4.18, é o nodo N_8 .

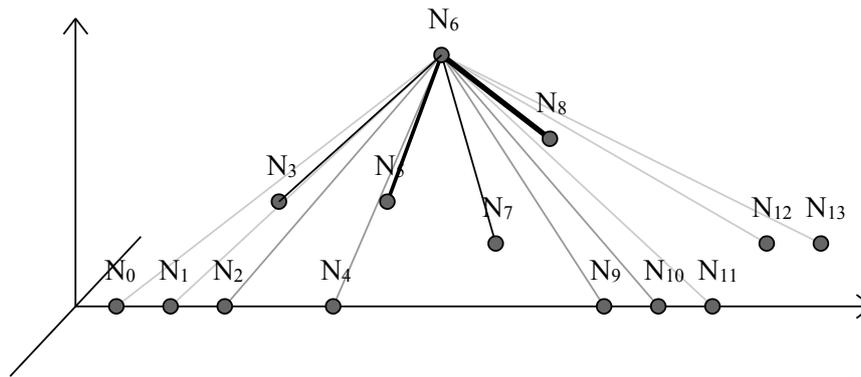


Figura 4.18 Fazer o cálculo da distância dos nodos da rede e, assim, quantizando suas ligações.

Com base no raciocínio simplificado explicado anteriormente, é possível fazer um modelo abrangente e flexível para o posicionamento de um nodo qualquer na rede quantizada por meio da equação vetorial:

$$(x, y, z) = \left(x_a, y_a, \sum_{i=1}^m k_i \right) \quad (4.16)$$

Onde x_a e y_a são valores inteiros determinados de acordo com a teoria de aprendizagem aplicada, m é o número de variáveis que influem na ponderação e k é o coeficiente de variação de nível referente a cada variável. As coordenadas (x_a, y_a) representam o posicionamento dos nodos na rede não-quantizada e são informadas basicamente pelo professor autor do curso, enquanto que os coeficientes k_i que determinam a posição z dos nodos são informados pelo agente pedagógico.

A distância entre um nodo N_i e o nodo atual N_a é calculada pela conhecida fórmula da distância entre dois pontos da geometria analítica:

$$d = \sqrt{(x_a - x_i)^2 + (y_a - y_i)^2 + (z_a - z_i)^2}$$

Como será feita uma comparação entre os valores de d , é possível fazer a mesma comparação por $D = d^2$. Portanto, para realizar uma quantização instantânea da rede, faz-se o seguinte cálculo:

$$D = (x_a - x_i)^2 + (y_a - y_i)^2 + (z_a - z_i)^2 \quad (4.17)$$

Note que essa variável de decisão D , que representa a quantização da rede, é o quadrado da norma euclidiana de um vetor $\vec{d} = (x, y, z)_a - (x, y, z)_i$. Isso indica que a mesma teoria poderia ser estendida para redes n-dimensionais, sem prejuízo.

4.5.4 Primeiro Acesso à Rede

A quantização da rede é um processo dinâmico e é realizada a partir do nodo atual N_a . Sendo assim, é necessário um subsistema que determine o primeiro ponto de acesso da rede. O primeiro acesso deve ser especificado pelo agente pedagógico do STI, mas o modelo deve fornecer informações suficientes para tal decisão.

Neste trabalho, o primeiro acesso natural da rede será dado pelo nodo com menor valor de x especificado nas redes. No caso do acesso específico a algum tema de algum nodo da rede, o primeiro acesso é o primeiro nodo determinado em um bloco coeso que contenha o nodo classificado como dependente.

4.6 TEORIAS DE APRENDIZAGEM E COEFICIENTES DE QUANTIZAÇÃO

O modelo de domínio proposto nesta tese trabalha com modelagens fina, média e grossa e com o uso de objetos de aprendizagem multiformes, funções heurísticas e redes quantizadas para oferecer um sistema educacional inteligente e adaptável ao perfil do estudante.

Para a modelagem grossa, o modelo de quantização da rede apresentado está baseado na alteração de nível z dos nodos da rede e juntamente com o posicionamento (x_a, y_a) original dos nodos proporcionam uma modelagem flexível a diversos modelos pedagógicos. Para corroborar com esta afirmação, serão apresentadas as propostas para quantização de duas redes quantizadas: behaviorista e ausubeliana.

4.6.1 Rede Behaviorista Quantizada

Na modelagem behaviorista, geralmente todos os nodos estão alinhados em x e, portanto, tem-se uma simplificação no cálculo do posicionamento dos nodos:

$$(x, y, z) = \left(x_a, 0, \sum_{i=1}^m k_i \right)$$

Os valores de x são dados pela relação direta com o vetor unidimensional informado pelo professor responsável pelo curso ao compor suas características básicas. Se, por exemplo, o vetor de nodos informasse $N = [N0, N1, N2, N3, \dots, Nn]$, então $N4$ possuiria o seguinte posicionamento na rede quantizada:

$$(x, y, z)_{N4} = \left(4, 0, \sum_{i=1}^m k_i \right)$$

A análise de z é a mais cuidadosa e dinâmica, visto que o sistema deve se adequar às novas características do aluno. A modelagem sugerida é generalista e pode receber coeficientes diversos dependendo do nível de inteligência e adaptação desejada. Para exemplificar o uso do modelo proposto, serão analisados o posicionamento dos nodos e três coeficientes para quantização da rede:

- k_1 Blocos coesos;
- k_2 Direção e expertise;
- k_3 Avaliação e confiabilidade.

O objetivo de se utilizar esses coeficientes é verificar que o modelo proposto caracteriza o domínio para diferentes contextos pedagógicos e oferece variáveis de controle para os agentes pedagógicos atuarem dentro do STI-OAM.

4.6.1.1 Coeficiente de quantização para blocos coesos

O coeficiente k_1 avalia se um nodo N_i faz parte do mesmo bloco coeso do nodo atual ou não. Na avaliação de $(k_1)_i$ deve-se fazer uma diferenciação em relação à hierarquia de

blocos coesos e aos objetivos de aprendizagem, e, impô-lo um limite superior de modo que os nodos externos aos blocos coesos não fiquem impedidos de serem acessados.

$$(k_1)_i = \begin{cases} p_b \sum_{j=1}^k n_j, & \text{se } N_i \in \text{bloco coeso de } N_\alpha \\ 0, & \text{c. c.} \end{cases} \quad (4.18)$$

Onde n_j é o número de nodos de um bloco coeso j e k é o número de blocos coesos que possuem N_α como elemento do conjunto e que estão a um nível igual ou inferior ao bloco coeso (de nível mais alto) de N_i . A análise desta afirmação não é trivial, mas, basicamente, deve-se considerar que N_i pode fazer parte de vários blocos coesos que contenham também N_α . Desse modo, verifica-se qual o bloco coeso de maior hierarquia que contenha N_i e N_α . Depois, considera-se todos os blocos coesos que contenham N_α e que estão em um nível igual ou inferior ao bloco especificado anteriormente. O coeficiente $(k_1)_i$ será o somatório dos elementos desses blocos.

Por exemplo, o valor de k_1 para o nodo N_3 se o nodo atual é N_4 e existem dois blocos coesos com N_4 , o primeiro contendo 4 elementos e outro, com nível hierárquico inferior ao primeiro, contendo 2 nodos. Se N_3 fizer parte do primeiro grupo coeso, então $(k_1)_3 = 6$. No caso de pertencer ao segundo grupo, então $(k_1)_3 = 2$. Em uma terceira situação, em que N_3 pertence aos dois blocos, então $(k_1)_3 = 6$.

Vale lembrar que os coeficientes de nível devem ser determinados pelos agentes pedagógicos e neste item da tese está sendo realizada apenas a verificação de que a modelagem poderia ser aplicada a um agente pedagógico behaviorista. Como acontece em boa parte dos sistemas inteligentes, a exemplo das redes neurais e sistemas especialistas, há uma fase de treinamento da rede em que se pondera o uso das variáveis de entrada e saída e no STI-OAM proposto não seria diferente.

O coeficiente p_b é um valor associado ao objetivo do aluno ao acessar o curso. Por exemplo, um aluno do público-alvo do curso teria um baixo valor associado de p_b e, desse modo, poderia seguir o planejamento normal de todo o curso fazendo o acesso ordenado

dos arquivos. Em direção oposta, um aluno com interesse específico em algum tema, teria um alto valor de p_b .

4.6.1.2 Coeficiente de quantização para direção e expertise

O coeficiente k_2 trabalha de acordo com a avaliação do nodo atual N_a e com o fluxo normal indicado pelo autor.

Para um nodo i , o coeficiente k_2 é dado por

$$(k_2)_i = \begin{cases} v, & \text{se } v_{N_a} \geq p_{bom} \text{ expertise}_{N_a} \text{ e } x_{N_i} > x_{N_a} \\ v, & \text{se } v_{N_a} < p_{bom} \text{ expertise}_{N_a} \text{ e } x_{N_i} < x_{N_a} \\ 0, & \text{c. c.} \end{cases} \quad (4.19)$$

Para a determinação do valor de v , deve-se verificar o valor necessário para provocar uma tendência de seguir o fluxo normal. Esse processo é dado pela fase de treinamento da rede, de modo similar ao processo realizado em redes neurais.

O coeficiente p_{bom} indica qual percentual de *expertise* seria necessário para que o sistema avaliasse o resultado de uma avaliação de nodo como satisfatória.

4.6.1.3 Coeficiente de quantização para avaliação do nodo e confiabilidade

O coeficiente k_3 tem o objetivo de reduzir a possibilidade de acesso em nodos cuja avaliação tenha sido satisfatória. Sendo assim, o valor de k_3 a ser aplicado a um nodo i deve ser dependente dos coeficientes anteriores calculados para o mesmo nodo e da avaliação do nodo. Uma solução possível seria uma relação linear.

$$(k_3)_i = -\text{Mín} \left(\frac{v_{N_i}}{p_{bom} \text{ expertise}_{N_i}}, 1 \right) (k_1 + k_2)_i \quad (4.20)$$

Também é possível adicionar a confiabilidade da avaliação na análise do coeficiente:

$$(k_3)_i = -\text{Mín} \left(\frac{C_{N_i} v_{N_i}}{p_{bom} \text{ expertise}_{N_i}}, 1 \right) (k_1 + k_2)_i \quad (4.21)$$

É possível ainda adicionar uma análise para a confiabilidade, de modo que haja uma confiabilidade satisfatória C_0 para a avaliação (uma opção é fazer $C_0=0.9$, ou seja, 90%). Sendo assim, a equação ficaria

$$(k_3)_i = -\text{Mín} \left(\frac{\text{Mín} \left(\frac{C_{N_i}}{C_0}, 1 \right) v_{N_i}}{p_{bom} \text{ expertise}_{N_i}}, 1 \right) (k_1 + k_2)_i \quad (4.22)$$

Note que se a avaliação for igual ou superior ao esperado e com confiabilidade pelo menos igual à considerada satisfatória, o coeficiente $(k_3)_i$ será igual a $-(k_1 + k_2)_i$, o que traria o nodo para $z=0$. Em qualquer outra situação, será feita uma redução de acordo com a avaliação e a confiabilidade.

No caso de existirem n coeficientes na análise de quantização da rede, o coeficiente responsável pelo decréscimo poderia ser generalizado pela fórmula

$$(k_d)_i = -\text{Mín} \left(\frac{\text{Mín} \left(\frac{C_{N_i}}{C_0}, 1 \right) v_{N_i}}{p_{bom} \text{ expertise}_{N_i}}, 1 \right) \sum_{j=1}^n (k_j)_i \quad (4.23)$$

4.6.2 Rede Ausubeliana Quantizada

Para quantização da rede com base na teoria de Ausubel, serão utilizados os mesmos coeficientes de nível da rede behaviorista. Contudo, existe uma grande modificação quanto ao modelo behaviorista e que é de suma importância para o teste do modelo aplicado a outra teoria de aprendizagem, que é o posicionamento dos nodos. Enquanto que na rede behaviorista geralmente se tem um posicionamento distribuído ao longo do eixo x , em Ausubel tem-se o uso de mapas conceituais bidimensionais.

Como é possível que existam nodos em um mapa conceitual para os quais não sejam associados arquivos da rede, é necessária uma organização dos nodos da rede. Para essa organização tem-se o seguinte algoritmo:

1. Considerar a origem do sistema no primeiro nodo (geralmente um nodo de introdução ou outro organizador prévio) e adotar o eixo x com direção vertical e sentido positivo para baixo indicando o fluxo natural do sistema e a passagem de um nodo mais geral e abrangente para um mais específico. O eixo y horizontal e com sentido da esquerda para a direita.
2. Conectar o nodo de introdução com o nodo de maior nível.
3. Retirar da rede os nodos “vazios”, ou seja, aqueles conceitos inseridos para completar o mapa conceitual, mas que não receberam arquivos. No lugar de nodos vazios, inserir conectores.
4. Reposicionar os nodos da rede seguindo as seguintes regras:
 - O primeiro nodo à esquerda de um nível deve ter y igual ao nodo imediatamente superior;
 - Os demais nodos devem ter o menor valor inteiro possível para y considerando que nenhum nodo com nível igual (que esteja à esquerda do nodo) ou inferior tenha y igual ou maior.

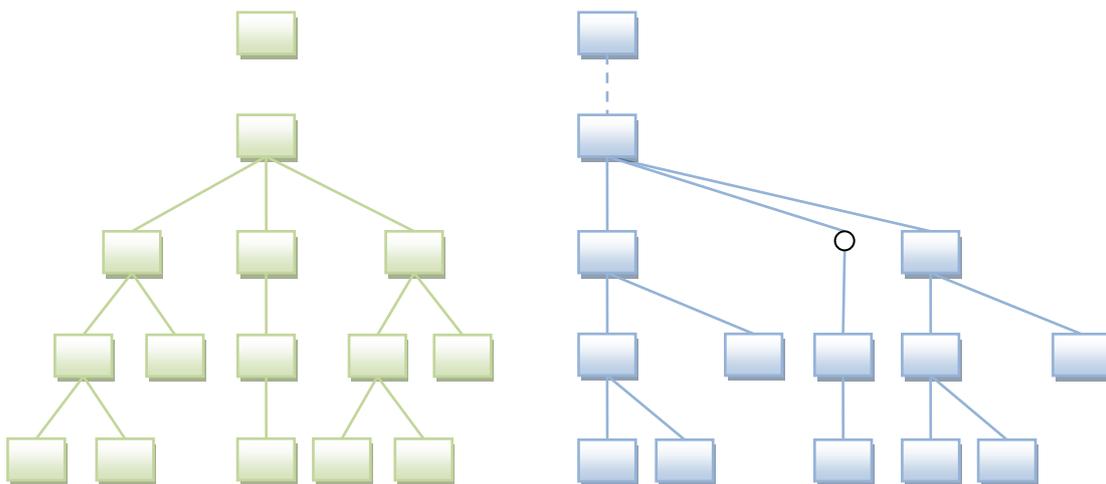


Figura 4.19 Rede ausubeliana organizada.

A rede organizada (figura 4.19) auxilia na construção lógica dos coeficientes de quantização da rede e facilita a identificação dos blocos coesos.

Sendo assim, o posicionamento dos nodos da rede quantizada ficaria:

$$(x, y, z) = \left(x_a, y_a, \sum_{i=1}^m k_i \right)$$

Onde (x_a, y_a) é a posição na rede organizada e k_i representam os coeficientes de quantização.

Um grande avanço em relação ao posicionamento dos nodos que foi proposto para a rede behaviorista sugerido anteriormente é a possibilidade do STI-OAM interagir com o aluno quanto à modelagem do domínio. Uma das grandes discussões sobre o uso dos mapas conceituais é que o mapa que realiza uma ligação entre os conceitos sugeridos pelo professor pode não ser o mesmo que o aluno produziria pela sua própria ação cognitiva. Sendo assim, é possível criar um ambiente em que o estudante possa modificar o mapa sugerido pelo professor de acordo com suas próprias impressões e também visualizar mapas de outros colegas. O sistema realizaria uma ponderação entre os três mapas – professor, aluno e turma – e o posicionamento de cada nodo da rede não-quantizada seria dado por:

$$(x_a, y_a) = \left(\frac{p_1 x_{a1} + p_2 x_{a2} + p_3 x_{a3}}{p_1 + p_2 + p_3}, \frac{p_1 y_{a1} + p_2 y_{a2} + p_3 y_{a3}}{p_1 + p_2 + p_3} \right)$$

Ou, de forma simplificada:

$$(x_a, y_a) = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^3 (p_i x_{ai}, p_i y_{ai}) \quad (4.24)$$

Onde $P = p_1 + p_2 + p_3$; p_i é a ponderação atribuída a i ; x_{ai} e y_{ai} são as coordenadas do nodo de um mapa conceitual construído por i ; e, os índices $i = 1, 2, 3$ representam o professor, o aluno e o grupo de alunos, respectivamente.

Desse modo, é possível ir além do mapa conceitual definido pelo professor fazendo a inclusão das construções cognitivas sugeridas pelo grupo de estudantes e pelo aluno para o

qual está sendo feita a adaptação de conteúdo. A exposição da possibilidade de fazer o aluno e o grupo de alunos interagirem quanto à concepção da modelagem de domínio foi feita somente para mostrar a potencialidade do modelo e não será considerada na etapa de validação devido ao escopo do trabalho.

4.6.2.1 *Coefficiente de quantização para blocos coesos*

Do mesmo modo que na rede behaviorista ou outra rede baseada em teorias de aprendizagem ou modelos pedagógicos, o coeficiente k_1 deve ser calculado com base na idéia de que o STI-OAM deve poder decidir que um usuário acesse apenas os nodos referentes a um bloco coeso. Na rede ausubeliana existe uma característica interessante que são os conceitos subsunçores e que possuem uma relação muito próxima com os blocos coesos, isto é, se dois nodos são elementos de um mesmo ramo do mapa conceitual, pode-se afirmar que também que fazem parte de um mesmo bloco coeso.

Além disso, é necessário fazer uma diferenciação em relação à hierarquia de blocos coesos do mesmo modo que ocorre no modelo anterior.

$$(k_1)_i = \begin{cases} p_b \sum_{j=1}^k n_j, & \text{se } N_i \in \text{bloco coeso de } N_a \\ 0, & \text{c. c.} \end{cases}$$

Onde n_j é o número de nodos de um bloco coeso j e k é o número de blocos coesos que possuem N_a como elemento do conjunto e que estão a um nível igual ou inferior ao bloco coeso (de nível mais alto) de N_i .

4.6.2.2 *Coefficiente de quantização para direção e expertise*

O coeficiente k_2 trabalha de acordo com a avaliação do nodo atual N_a e com o fluxo normal indicado pelo autor durante a confecção do mapa conceitual. No caso da rede behaviorista, o fluxo natural era determinado pelo sentido positivo do eixo x, já na rede ausubeliana, um único eixo ou a junção dos dois eixos não é suficiente para determinar o

fluxo em todas as situações. Sendo assim, para atribuir a quantização referente ao fluxo será utilizada também a ordem dos arquivos determinados nos blocos coesos:

$$(k_2)_i = \begin{cases} v, \text{ se } v_{N_a} \geq p_{bom} \text{ expertise}_{N_a}, N_i \in GP \\ v, \text{ se } v_{N_a} < p_{bom} \text{ expertise}_{N_a}, N_i \in Bl_{N_a} \text{ e } x_{N_i} < x_{N_a} \\ 0, \text{ c. c.} \end{cases} \quad (4.25)$$

Onde *GP* representa o grupo dos primeiros nodos de cada coluna, isto é, com o menor valor de *x* e o primeiro abaixo de *N_a*.

4.6.2.3 Coeficiente de quantização para avaliação do nodo e confiabilidade

Para o coeficiente *k₃*, não há necessidade de alteração em relação ao modelo anterior. Portanto, para um nodo *i* tem-se:

$$(k_3)_i = -\text{Mín} \left(\frac{\text{Mín} \left(\frac{C_{N_i}}{C_0}, 1 \right) v_{N_i}}{p_{bom} \text{ expertise}_{N_i}}, 1 \right) (k_1 + k_2)_i$$

5 VALIDAÇÃO DO MODELO

Este capítulo apresenta três ações para validação do modelo de domínio proposto nesta tese. Primeiramente, são discutidos os Objetos de Aprendizagem Multiformes (OAM) e sua viabilidade técnica com base em objetos interativos e um OAM de simulação. Também foi construído um simulador de interação do STI-OAM e o objeto educacional.

Depois, é feita uma série de simulações computacionais de situações possíveis verificando o comportamento da modelagem grossa quanto à estabilidade e os percursos de aprendizagem sugeridos para um estudante fictício.

Em um último momento, o modelo é apresentado a três especialistas que realizam uma apreciação em direção aos objetivos propostos neste trabalho.

5.1 OBJETOS DE APRENDIZAGEM MULTIFORMES

Como primeira medida para verificar a viabilidade de construção dos Objetos de Aprendizagem Multiformes (OAM) foi construído um curso com vários com objetos de aprendizagem interativos (teoria, teste e simulação) conforme padrão de qualidade usual dos objetos já bem conhecidos dos pesquisadores dessa área³. Tais objetos serviram para discussão com especialistas para avaliação quanto à possibilidade de aplicação da arquitetura proposta na construção de OAM's (figura 5.1). Uma descrição técnica dos objetos de aprendizagem, dos simuladores e demais produções técnicas desenvolvidas neste trabalho estão descritas no Apêndice B.

³ Os objetos produzidos na tese foram premiados no concurso nacional RIVED do Ministério da Educação e Cultura (MEC) no ano de 2006.

Para os objetos de teoria, foram utilizados vários recursos (explicações, exemplificações e simulações internas) para que a discussão com os especialistas que fizeram uma análise do trabalho e sobre o uso desses objetos em diferentes contextos pedagógicos ficasse mais estruturada e enriquecida.

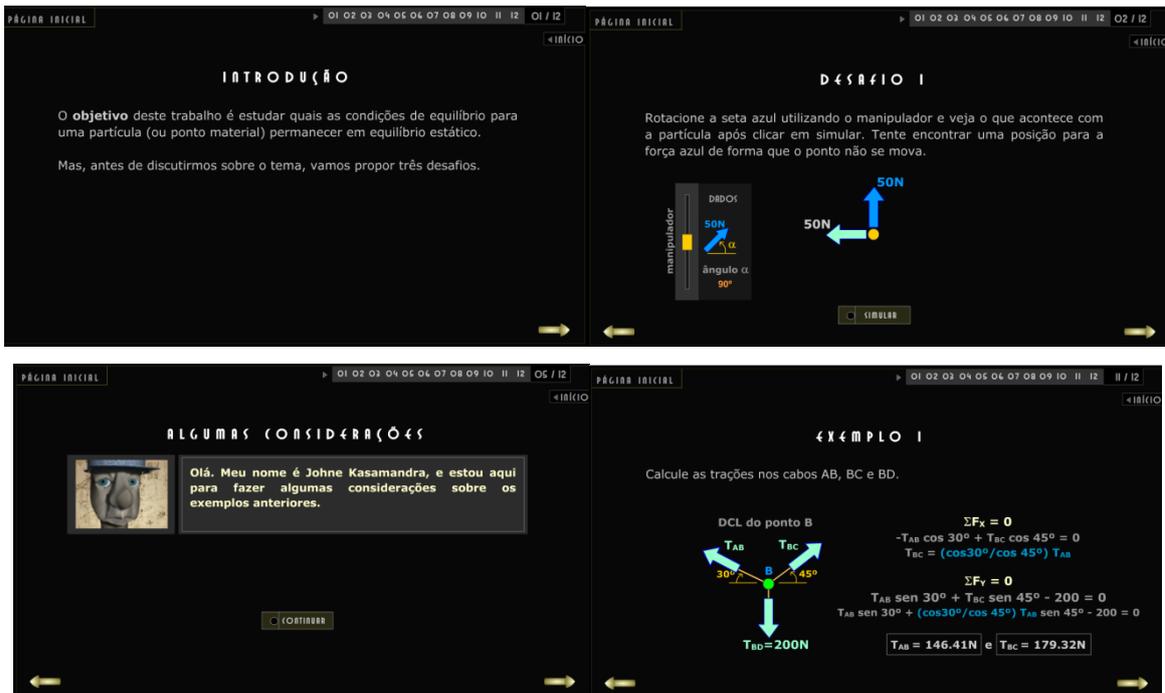


Figura 5.1 Telas de um objeto de aprendizagem de teoria.

Para os objetos de teste, previstos como parte integrante da avaliação, foi construído um objeto cujos dados de entrada podem ser manipulados de acordo com a necessidade pedagógica (figura 5. 2).

Para cada composição do problema são proporcionadas novas alternativas e, devido ao passo incremental para cada variável associada a algum objeto manipulável inserido na cena, tem-se um total de $2,1 \times 10^{13}$ enunciados distintos possíveis, sem contar com as diversas alternativas geradas com base em algumas regras predefinidas fundamentadas em conceitos simples tais como o ordenamento e o espaçamento entre itens.



Figura 5.2 Telas de um objeto de aprendizagem de teste.

Também foi construído um objeto de simulação para o referido curso, contudo, ele será debatido em destaque, pois, sendo o objeto mais complexo, foi desenvolvido um OAM de simulação com base nesse recurso didático como segunda medida de verificação da viabilidade de construção dos OAM's.

Além disso, para comprovar o poder de adaptação dos OAM's segundo comandos feitos pelo STI-OAM, foi desenvolvido em Flash MX com programação em ActionScript um simulador do STI-OAM específico para o OAM de simulação. Com base nesses dois arquivos, foi possível simular a intervenção dos agentes pedagógicos e a leitura da ação do estudante sobre o OAM.

Outras interações podem ser experimentadas e analisadas com base na arquitetura geral do simulador do STI-OAM apresentada na figura 5.3

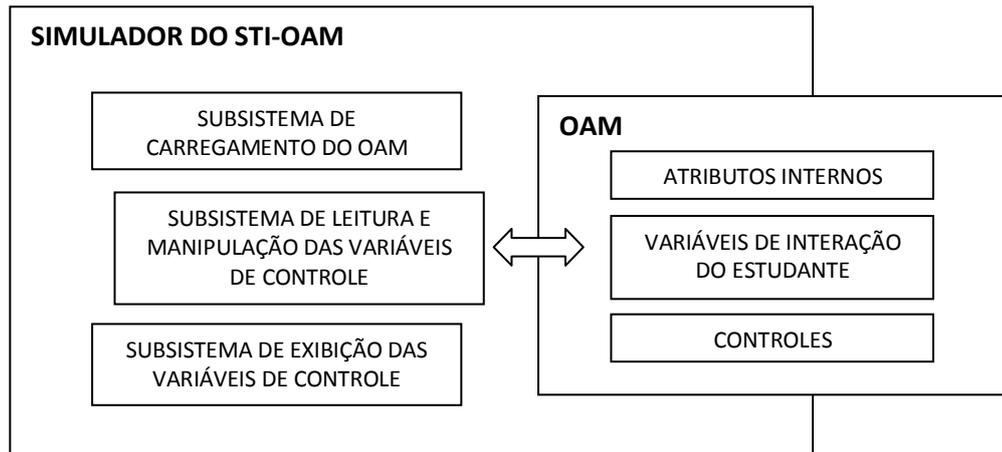


Figura 5.3 Arquitetura do simulador de interação entre o STI-OAM e um OAM.

O subsistema de carregamento do OAM faz o acesso ao OAM e armazena sua estrutura internamente. O subsistema de leitura e manipulação de variáveis faz a interação com os componentes do OAM que possuem o registro das informações necessárias para intervenção e controle. Por fim, o subsistema de exibição das variáveis de controle faz a interface com o usuário e, por meio dele, o pesquisador pode fazer o papel do agente pedagógico, interferindo diretamente sobre o objeto de aprendizagem.

5.1.1 Viabilidade Técnica dos OAM's

Para o OAM de simulação foi desenvolvido um jogo educativo denominado “Labirinto Vetorial” que consiste em um Labirinto com algumas paredes móveis em que o estudante deve encontrar a saída manipulando um vetor, que representa sua velocidade, por meio do teclado do computador.

O estudante possui apenas duas teclas para controlar o vetor velocidade (seta para cima “↑” e seta para baixo “↓”), quando é pressionada a tecla “↑” ou a tecla “↓”, o vetor faz rotação no sentido antihorário ou horário, respectivamente. Com isso, as componentes da velocidade sofrem alteração e é realizada a movimentação pelo labirinto.

Contudo, existem outras variáveis, tal como a movimentação das paredes, o quadro de informações e a habilidade motora, que influenciam no desempenho no jogo e, como

observado em testes preliminares, alguns usuários desistem do desafio por considerarem “muito rápido”.

O jogo possui três fases em grau de complexidade gradativo em que são adicionados vetores externos que influenciam no deslocamento do estudante pelo labirinto (figura 5.4).

O OAM de simulação foi construído com os atributos internos da tabela 5.1.

Tabela 5.1 Atributos internos do OAM de simulação.

Fase 1					
Variáveis de controle	<i>vel</i> (módulo da velocidade)				
	<i>Nível 1</i> <i>vel=2</i>	<i>Nível 2</i> <i>vel=3</i>	<i>Nível 3</i> <i>vel=5</i>	<i>Nível 4</i> <i>vel=7</i>	<i>Nível 5</i> <i>vel=10</i>
Condições de fase	<i>Nível 1</i> <i>tempo<300</i> <i>colisoes<5</i>	<i>Nível 2</i> <i>tempo<200</i> <i>colisoes<5</i>	<i>Nível 3</i> <i>tempo<150</i> <i>colisoes<4</i>	<i>Nível 4</i> <i>tempo<120</i> <i>colisoes<3</i>	<i>Nível 5</i> <i>tempo<100</i> <i>colisoes<2</i>
	Fase 2				
Variáveis de controle	<i>vel</i> (módulo da velocidade), <i>vy</i> (módulo da velocidade vertical)				
	<i>Nível 1</i> <i>vel=2</i> <i>vy=0.5</i>	<i>Nível 2</i> <i>vel=3</i> <i>vy=1</i>	<i>Nível 3</i> <i>vel=5</i> <i>vy=2</i>	<i>Nível 4</i> <i>vel=7</i> <i>vy=3</i>	<i>Nível 5</i> <i>vel=10</i> <i>vy=5</i>
Condições de fase	<i>Nível 1</i> <i>tempo<300</i> <i>colisoes<5</i>	<i>Nível 2</i> <i>tempo<200</i> <i>colisoes<5</i>	<i>Nível 3</i> <i>tempo<150</i> <i>colisoes<4</i>	<i>Nível 4</i> <i>tempo<120</i> <i>colisoes<3</i>	<i>Nível 5</i> <i>tempo<100</i> <i>colisoes<2</i>
	Fase 3				
Variáveis de controle	<i>vel</i> (módulo da velocidade), <i>vx</i> (módulo da velocidade horizontal)				
	<i>Nível 1</i> <i>vel=2</i> <i>vx=0.5</i>	<i>Nível 2</i> <i>vel=3</i> <i>vx=1</i>	<i>Nível 3</i> <i>vel=5</i> <i>vx=2</i>	<i>Nível 4</i> <i>vel=7</i> <i>vx=3</i>	<i>Nível 5</i> <i>vel=10</i> <i>vx=5</i>
Condições de fase	<i>Nível 1</i> <i>tempo<300</i> <i>colisoes<5</i>	<i>Nível 2</i> <i>tempo<200</i> <i>colisoes<5</i>	<i>Nível 3</i> <i>tempo<150</i> <i>colisoes<4</i>	<i>Nível 4</i> <i>tempo<120</i> <i>colisoes<3</i>	<i>Nível 5</i> <i>tempo<100</i> <i>colisoes<2</i>

As variáveis de controle foram armazenadas no OAM em um componente interno predeterminado que especifica as variáveis que podem ser manipuladas pelo agente

pedagógico na adaptação das condições do jogo de acordo com o perfil do estudante e seu rendimento atual. As condições de fase ficam em outro componente do OAM e exibem o rendimento esperado em cada fase para níveis diferentes de estudantes.

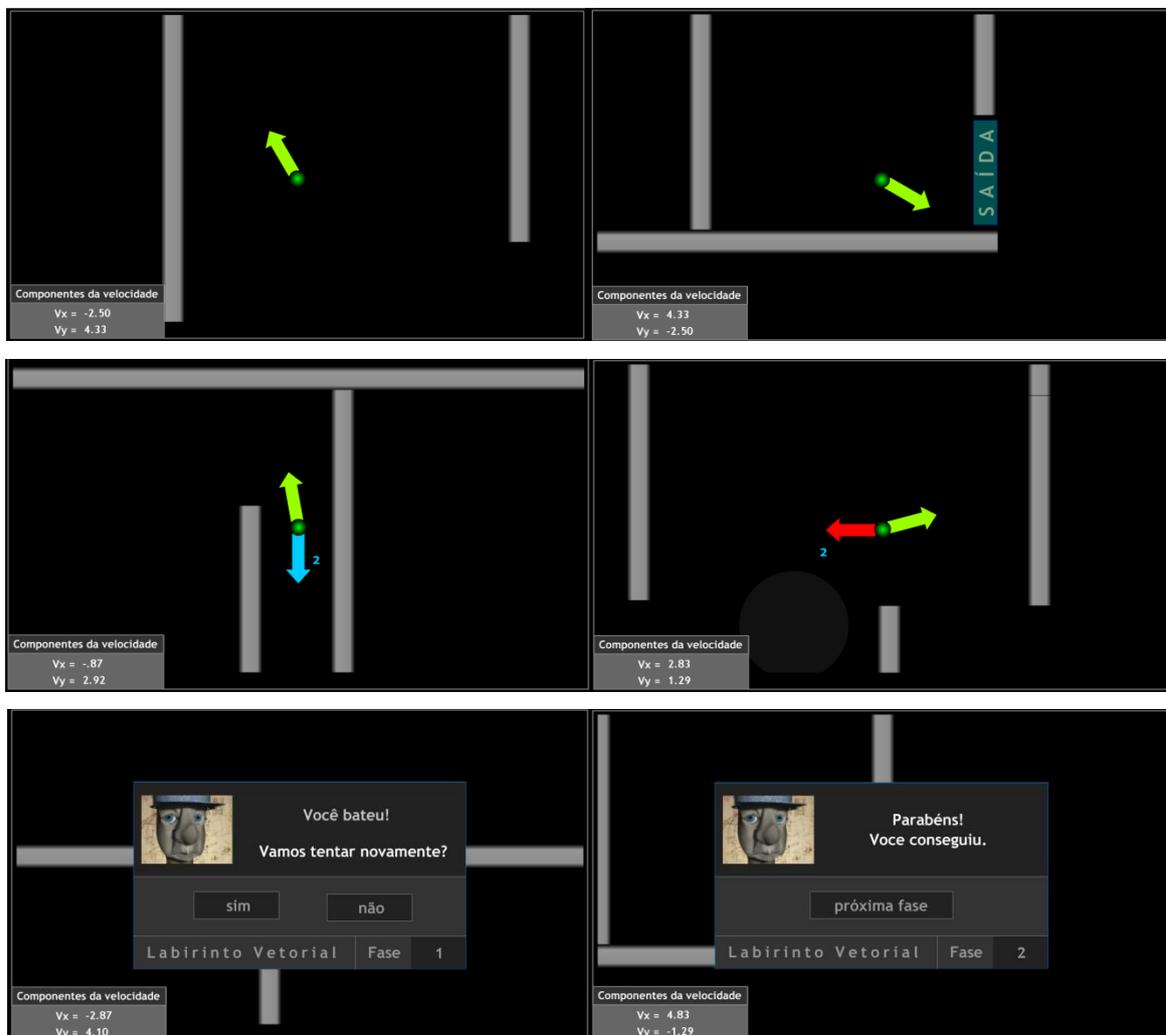


Figura 5.4 Telas de um OAM de simulação.

Por meio da interação do estudante com o simulador, as variáveis definidas nas condições de fase vão sendo atualizadas e são automaticamente exibidas em um componente específico no simulador do STI-OAM. Com isso, é possível alterar os valores das variáveis de controle de complexidade em tempo de execução de acordo com as faixas sugeridas no componente de adaptação (figura 5.5).



Figura 5.5 Telas do simulador de interação do STI-OAM com um OAM de simulação .

5.2 SIMULAÇÃO DO MODELO DE REDES QUANTIZADAS

A validação de um STI pode ser realizada por meio de uma pesquisa experimental fazendo uso de propriedades clássicas desse tipo de estudo como a manipulação das características do experimento pelo pesquisador, a formação de grupos de controle e experimental e a distribuição aleatória para composição dos grupos (Gil, 2004). Contudo, ao se confeccionar uma etapa específica do sistema, essa estratégia se torna inviável se os demais componentes não tiverem sido construídos em algum momento anterior da pesquisa.

Para que fosse possível experimentar a modelagem de domínio proposta, foram construídos dois exemplos de domínio, um no contexto behaviorista e outro para análise ausubeliana.

5.2.1 Simuladores da Modelagem Grossa

5.2.1.1 *Simulador do modelo de redes quantizadas*

Para análise do comportamento do modelo ao ser submetido a diversas situações foram desenvolvidos dois simuladores em Maple V: uma para o modelo behaviorista e outro para a aprendizagem significativa (vide Apêndice B). Nesses simuladores são definidas as características gerais da rede (nodos, blocos e hierarquia de blocos), os coeficientes de controle do modelo (K_{a0} , v_{ax} , p_e , p_b , v , C_0 , *expertise*, p_{bom}), a história da rede (avaliações, confiabilidade, número de avaliações) e os dados de acesso do próximo nodo (especificação, avaliação e confiabilidade). Com esses dados de entrada, são feitos os cálculos de variação dos dados da rede e realizada a quantização da rede, tendo, como saída, a indicação do próximo nodo a ser acessado.

O simulador behaviorista realiza basicamente os seguintes passos:

- 1) Verifica se todos os nodos estão com avaliação superior a um valor satisfatório.
- 2) Faz o cálculo da confiabilidade da avaliação direta para o nodo atual (eq. 4.6 e 4.7):

$$\rho_{RR21} = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{M(k-M)}{k s_{xx}^2} \right)$$

$$s_{xx}^2 = \frac{\sum x^2}{n-1}$$

- 3) Faz o cálculo de K_a para cada nodo com base no nodo atual, o limite de visibilidade v_{ax} e K_{a0} (eq. 4.2):

$$K_a = \begin{cases} \frac{K_{a0}}{v_{ax}} (v_{ax} - x), & 0 \leq x \leq v_{ax} - 1 \\ 0, & \text{c. c.} \end{cases}$$

- 4) Calcula as notas dos nodos com K_a diferente de zero (eq. 4.10):

$$N = N_0 + (1 - C_0)(N_1 - N_0) \frac{K_a}{5}$$

- 5) Atualiza o valor da variável referente ao número de avaliações n_a .
6) Calcula a confiabilidade da avaliação indireta (eq. 4.9):

$$C = \frac{(n_a + 1)C_0 + C_1(1 - 0,1|N_0 - N_1|)}{n_a + 2}$$

- 7) Verifica a deterioração da rede (eq. 4.14 e 4.15):

$$N = (1 - p_e)N_0$$

$$p_e = \begin{cases} 0, & t \leq t_m \\ \frac{t - t_m}{t_M - t_m} p_{emáx}, & t_m < t < t_M \\ p_{emáx}, & t > t_M \end{cases}$$

- 8) Realiza o cálculo dos coeficientes de quantização da rede para cada nodo i (eq. 4.18):

$$(k_1)_i = \begin{cases} p_b \sum_{j=1}^k n_j, & \text{se } N_i \in \text{bloco coeso de } N_a \\ 0, & \text{c. c.} \end{cases}$$

O cálculo de k_1 não é trivial e, para construir um programa mais eficiente foi desenvolvido um sub-algoritmo que realiza os seguintes passos:

- a) Retira da hierarquia de blocos os elementos que não possuem o nodo atual.
 - b) Dentro da hierarquia de blocos, lista os blocos que possuem o nodo i .
 - c) Verifica o bloco de maior nível B1 dentre os blocos dessa lista.
 - d) Lista os blocos que possuem nível igual ou inferior ao bloco B1.
 - e) Faz o cálculo do número de elementos para cada um desses blocos se o nodo atual for pertencente ao bloco.
- 9) Realiza o cálculo dos demais coeficientes de quantização da rede para cada nodo i (eq. 4.19 e 4.20):

$$(k_2)_i = \begin{cases} v, & \text{se } v_{N_a} \geq p_{bom} \text{ expertise}_{N_a} \text{ e } x_{N_i} > x_{N_a} \\ v, & \text{se } v_{N_a} < p_{bom} \text{ expertise}_{N_a} \text{ e } x_{N_i} < x_{N_a} \\ 0, & \text{c. c.} \end{cases}$$

$$(k_3)_i = -\text{Mín} \left(\frac{\text{Mín} \left(\frac{C_{N_i}}{C_0}, 1 \right) v_{N_i}}{p_{bom} \text{ expertise}_{N_i}}, 1 \right) (k_1 + k_2)_i$$

- 10) Faz o cálculo da posição quantizada dos nodos (eq. 4.16):

$$(x, y, z) = \left(x_a, y_a, \sum_{i=1}^m k_i \right)$$

- 11) Faz o cálculo da variável de decisão D para cada nodo (eq. 4.17):

$$D = (x_a - x_i)^2 + (y_a - y_i)^2 + (z_a - z_i)^2$$

- 12) Verifica o nodo com D mínimo e o escolhe como próximo nodo a ser acessado pelo usuário.

Para o simulador da modelagem grossa ausubeliano, o simulador é modificado justamente quanto ao cálculo dos coeficientes de quantização com base nas equações descritas anteriormente.

5.2.1.2 *Simulador de situações*

Os primeiros simuladores realizam a experimentação de um único caso e é utilizado para verificar a variação dos coeficientes de quantização e fazer intervenções a cada acesso aos nodos. Desse modo, é possível simular a interação entre o modelo de quantização da rede e o agente pedagógico.

Contudo, para verificar a estabilidade da rede e submeter o modelo a diversas situações foi desenvolvido outro simulador, chamado de simulador de situações. Nesse simulador, além dos dados de entrada do primeiro simulador, são especificadas faixas para a avaliação do nodo a ser acessado e são geradas situações aleatórias dentro desse intervalo.

Como saída desse programa, tem-se um gráfico com o percurso realizado durante a simulação e todas as variações das características da rede salvas em vetores multidimensionais e em gráficos. O programa trabalha fazendo solicitações ao simulador do modelo e armazenando os resultados obtidos de modo organizado.

Conforme visto anteriormente, o agente pedagógico é responsável por escolher o percurso de aprendizagem para o estudante com base na comparação entre o modelo do estudante e o modelo do domínio de conhecimento. No caso da arquitetura proposta para o STI-OAM, o agente pedagógico também faz essa escolha com base em informações do modelo do domínio, mas, compara com dados a serem obtidos do agente de perfil do estudante. Para a simulação do funcionamento da modelagem proposta não foi necessário especificar esse agente que faz a análise do perfil do estudante, cabendo ao usuário ou ao simulador de situações apresentar os valores das variáveis de controle do agente pedagógico. Mesmo assim, um agente de perfil do estudante atuando com base na arquitetura proposta para o STI-OAM teria que atuar em paralelo a um banco de dados relacional que faria o controle das interações do estudante com o domínio de conhecimento baseando-se, principalmente, com os metadados registrados em cada nível da modelagem.

5.2.2 **Simulações em uma Rede Behaviorista**

Para fazer a simulação de uma rede behaviorista, foi construída a modelagem de um domínio intitulado “Soma de Vetores de Duas Dimensões” e é apresentado a seguir:

5.2.2.1 *Exemplo de modelo de domínio de uma rede behaviorista*

TÍTULO: Soma de Vetores em Duas Dimensões

Nesse modelo serão utilizados sete nodos especificados a seguir:

1. Introdução
2. Vetores
3. Multiplicação por Escalar
4. Soma de Vetores: Regra do Paralelogramo
5. Soma de Vetores: Polígono
6. Soma de Vetores: Componentes Cartesianas
7. Soma de Vetores: Labirinto Vetorial

Além dos nodos supracitados, foram considerados 21 OAM's listados abaixo:

1. Introdução
2. Vetores: definição, aplicações, exemplos
3. Vetores: Avaliação
4. Multiplicação por Escalar: definição, exemplos
5. Multiplicação por Escalar: Avaliação
6. Regra do Paralelogramo: Apresentação
7. Lei dos Senos
8. Lei dos Senos: Avaliação
9. Lei dos Cossenos
10. Lei dos Cossenos: Avaliação
11. Regra do Paralelogramo: definição, exemplos
12. Regra do Paralelogramo: Avaliação Nível 1
13. Regra do Paralelogramo: Avaliação Nível 2
14. Soma de Vetores por Polígono: definição, exemplos
15. Soma de Vetores por Polígono: Avaliação
16. Decomposição de Vetores: definição, exemplos
17. Decomposição de Vetores: Avaliação
18. Soma de Vetores por Componentes: definição, exemplos
19. Soma de Vetores por Componentes: Avaliação Nível 1
20. Soma de Vetores por Componentes: Avaliação Nível 2
21. Jogo educativo Labirinto Vetorial

Os OAM's foram agrupados nos 7 nodos supracitados e o modelo do domínio é mostrado na figura 5.6.

Soma de Vetores em Duas Dimensões



Figura 5.6 Exemplo de rede behaviorista.



Figura 5.6 Exemplo de rede behaviorista (cont).

A modelagem grossa para o domínio segue com a definição dos blocos coesos:

1. B11: Introdução
2. B12: Introdução, Vetores
3. B13: Introdução, Vetores, Multiplicação por Escalar
4. B14: Introdução, Vetores, Soma de Vetores: Regra do Paralelogramo
5. B15: Introdução, Vetores, Soma de Vetores: Polígono
6. B16: Introdução, Vetores, Multiplicação por Escalar, Soma de Vetores: Componentes Cartesianas
7. B17: Soma de Vetores: Labirinto Vetorial

Para este exemplo, foi utilizada a seguinte hierarquia de blocos coesos:

Nível 1: Bl 1, Bl 2, Bl 6
Nível 2: Bl 4, Bl 7
Nível 3: Bl 3, Bl 5

Sobre esse exemplo de modelagem de domínio, foram realizados os seguintes testes:

5.2.2.2 *Aluno no fluxo normal com notas sempre acima da nota mínima para aprovação*

Para realizar uma simulação sobre o percurso indicado para um estudante fictício, são informadas variáveis de entrada que especificam o modelo de domínio de conhecimento grosso contendo o posicionamento dos nodos, os elementos constituintes dos blocos e a hierarquia. Como o simulador foi desenvolvido em Maple, as variáveis são especificadas utilizando a seguinte formatação:

```
nodos=[[0,0],[1,0],[2,0],[3,0],[4,0],[5,0],[6,0]]  
blocos=[[1],[1,2],[1,2,3],[1,2,4],[1,2,5],[1,2,3,6],[7]]  
hierarquia_bl=[[1,2,6],[4,7],[3,5]]
```

Com vistas à viabilidade da proposta, a especificação das variáveis concernentes à modelagem grossa deve ser feita com base em um sistema tutorial para autoria conforme previsto na arquitetura do STI-OAM (figura 4.1).

Para realizar a simulação é necessário especificar também as variáveis referentes à quantização da rede. Um estudo mais aprofundado da atribuição dos valores das variáveis de controle deve ser feito para a construção dos agentes pedagógicos do sistema e possuem relação direta com a modelagem realizada para o estudante. Os valores iniciais utilizados para simulação foram:

```
ka0=5  
vax=5  
conf_dir=0.8  
pe=0  
pb=0.2  
v=2  
c0=1  
expertise=10  
p_bom=0.5  
nodo_prox=1
```

Além desses valores, foi utilizada uma faixa aleatória de notas variando de 5 a 10 e em todos os casos o resultado foi o mesmo exibido na figura 5.7. Os pontos da figura 5.7(a) representam os momentos de acesso aos nodos e na figura 5.7(b) são adicionados segmentos de reta fazendo a ligação entre os pontos. Esse artifício é importante na análise de gráficos com muitos pontos.

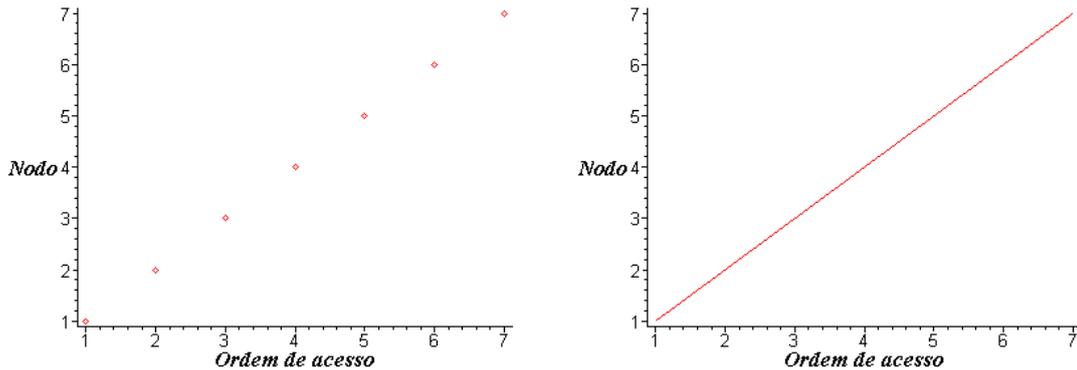


Figura 5.7 Gráficos do percurso do estudante (ordem de acesso *versus* nodo acessado).

5.2.2.3 Aluno no fluxo normal com notas variando entre 1 e 10

Além das mesmas definições para a caracterização da rede e dos coeficientes de quantização, foram simuladas situações aleatórias em que a nota tinha uma variação entre 1 e 10. Os resultados mais representativos são mostrados na figura 5.8.

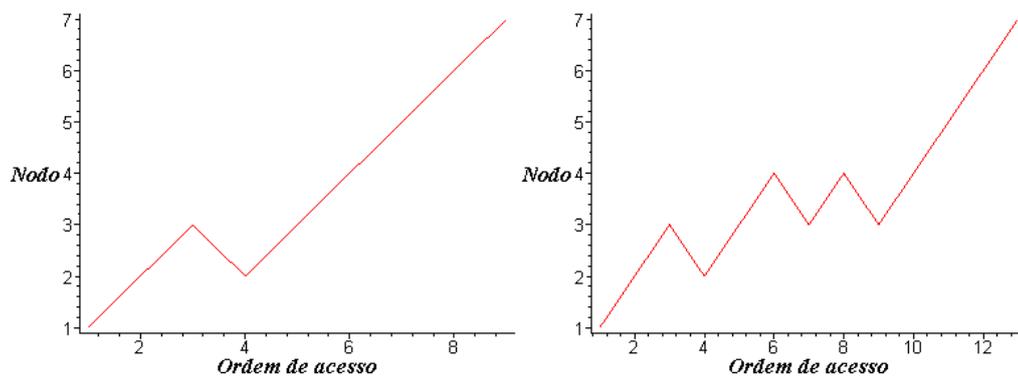


Figura 5.8 Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 10.

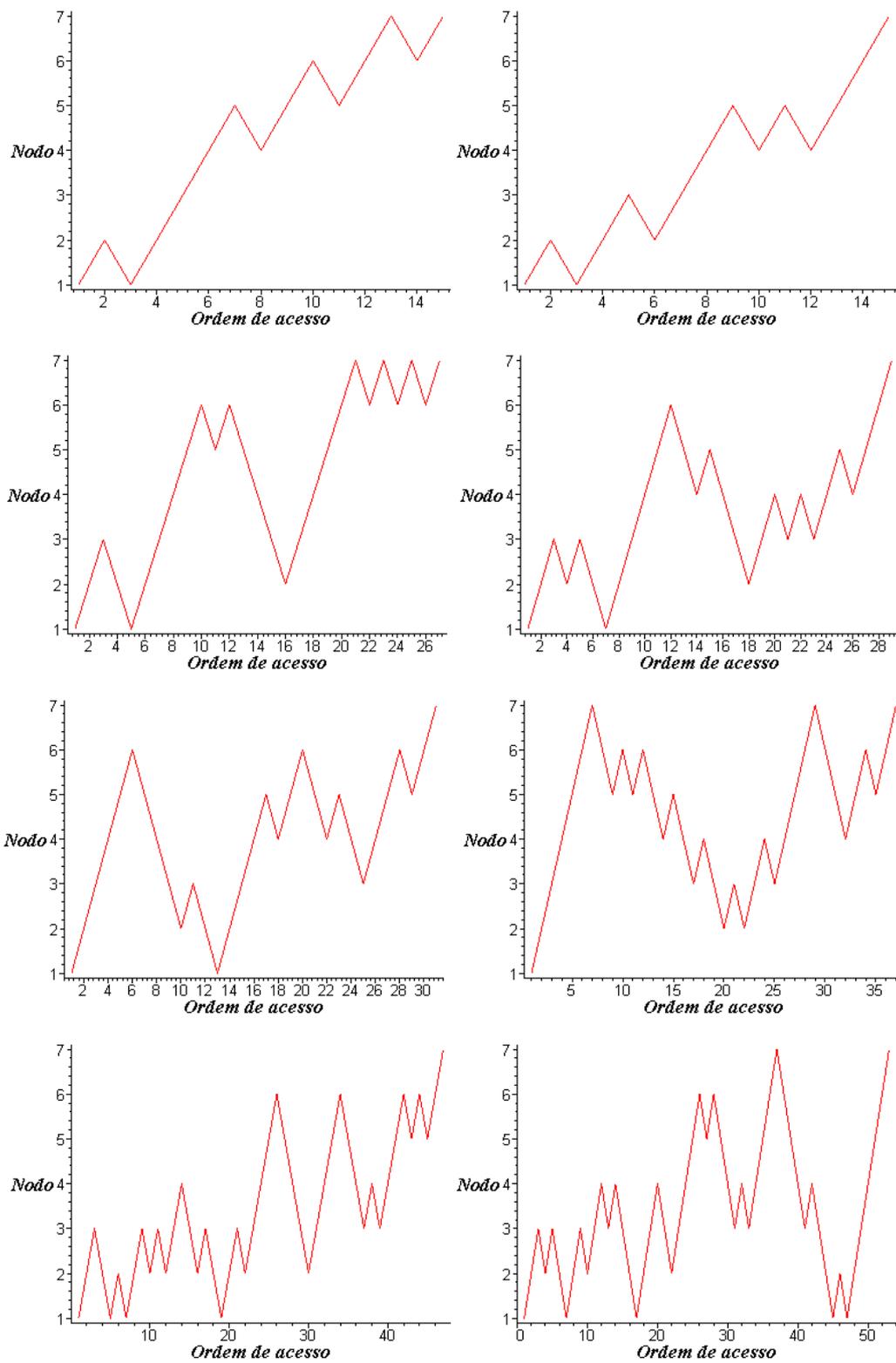


Figura 5.8 Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 10 (cont).

5.2.2.4 Aluno no fluxo normal com notas variando entre 1 e 7

Utilizando as mesmas definições para as variáveis da rede e dos coeficientes de quantização, foram simuladas situações aleatórias em que a nota tinha uma variação entre 1 e 7. O objetivo era verificar o comportamento da rede com avaliações ruins e os resultados mais representativos são mostrados na figura 5.9.

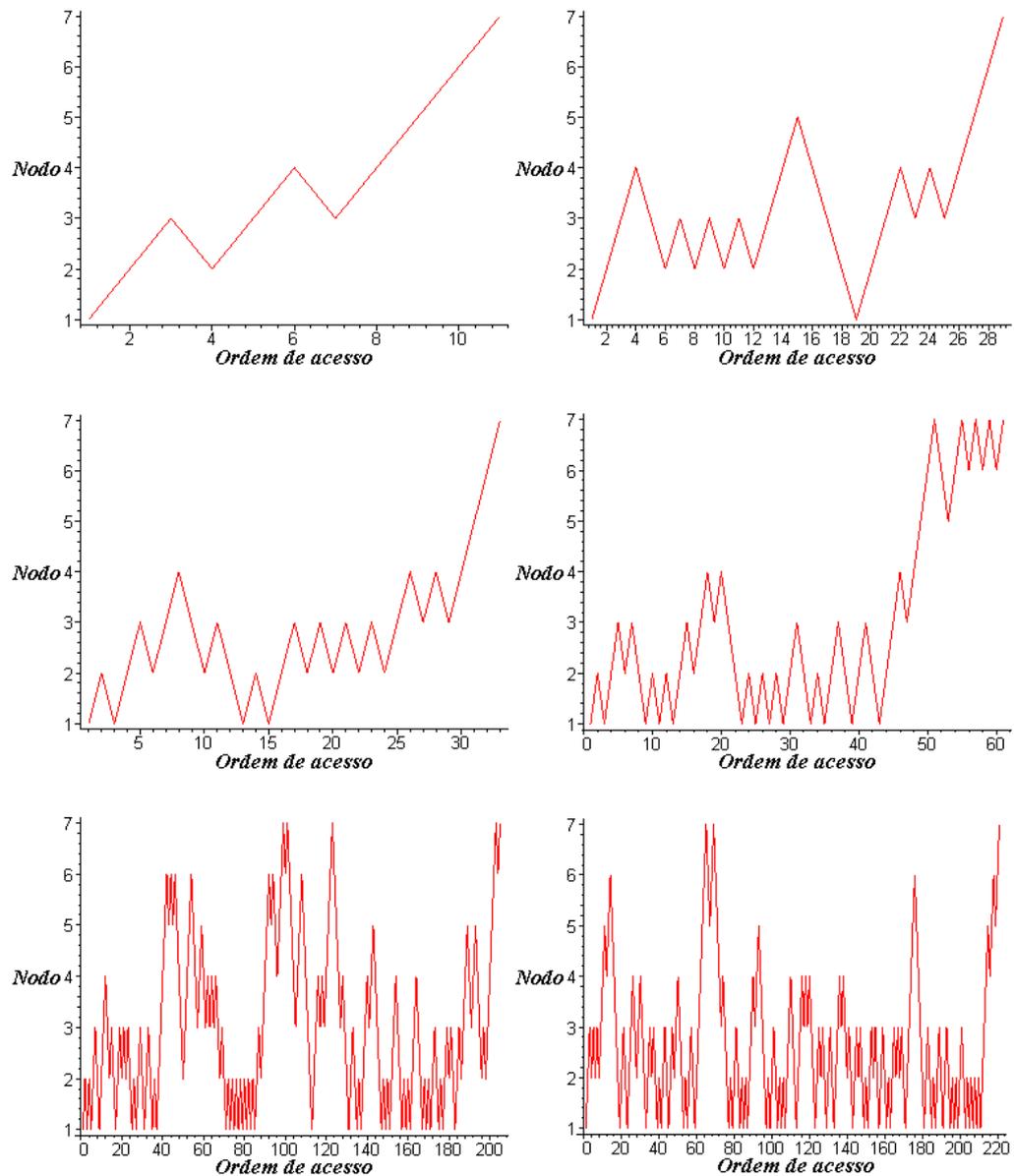


Figura 5.9 Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 7.

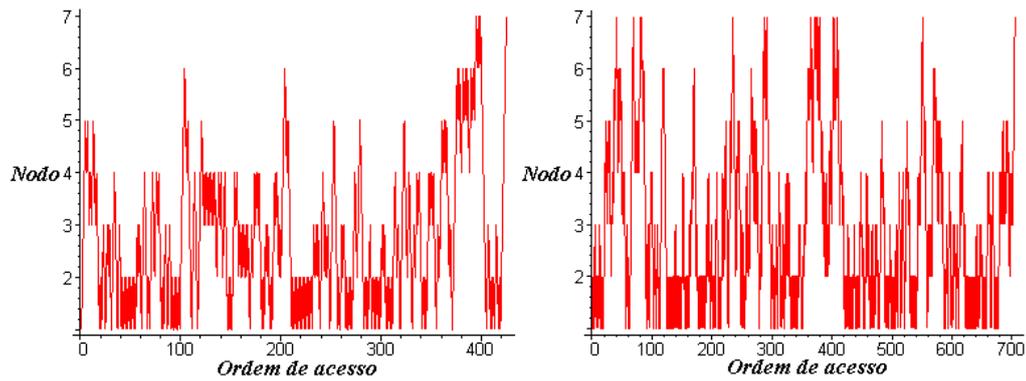


Figura 5.9 Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 7 (cont).

5.2.2.5 Análise dos blocos coesos com notas variando entre 1 e 10

O objetivo deste item é verificar a influência do coeficiente de quantização que se refere aos blocos coesos. Para isso, foi alterado o valor de p_b de 0.2 para 0.8 e utilizadas as mesmas definições para a caracterização da rede e dos coeficientes de quantização. Foram simuladas situações aleatórias em que a nota tinha uma variação entre 1 e 10 e os resultados mais representativos são mostrados na figura 5.10.

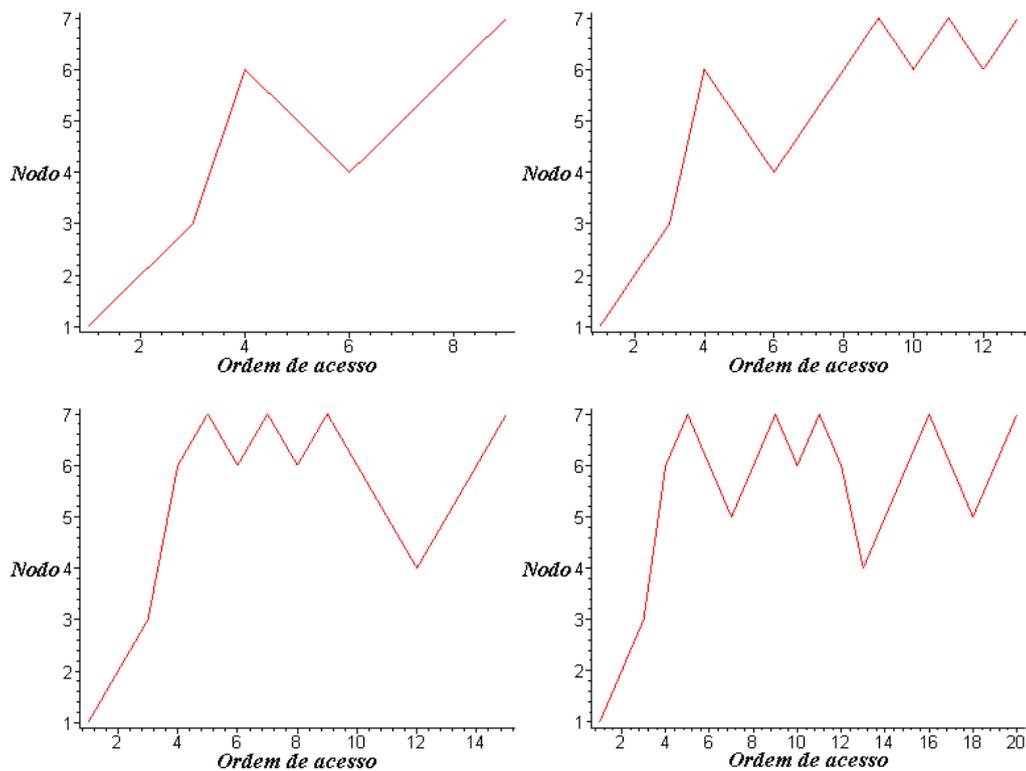


Figura 5.10 Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 10 e análise de blocos coesos.

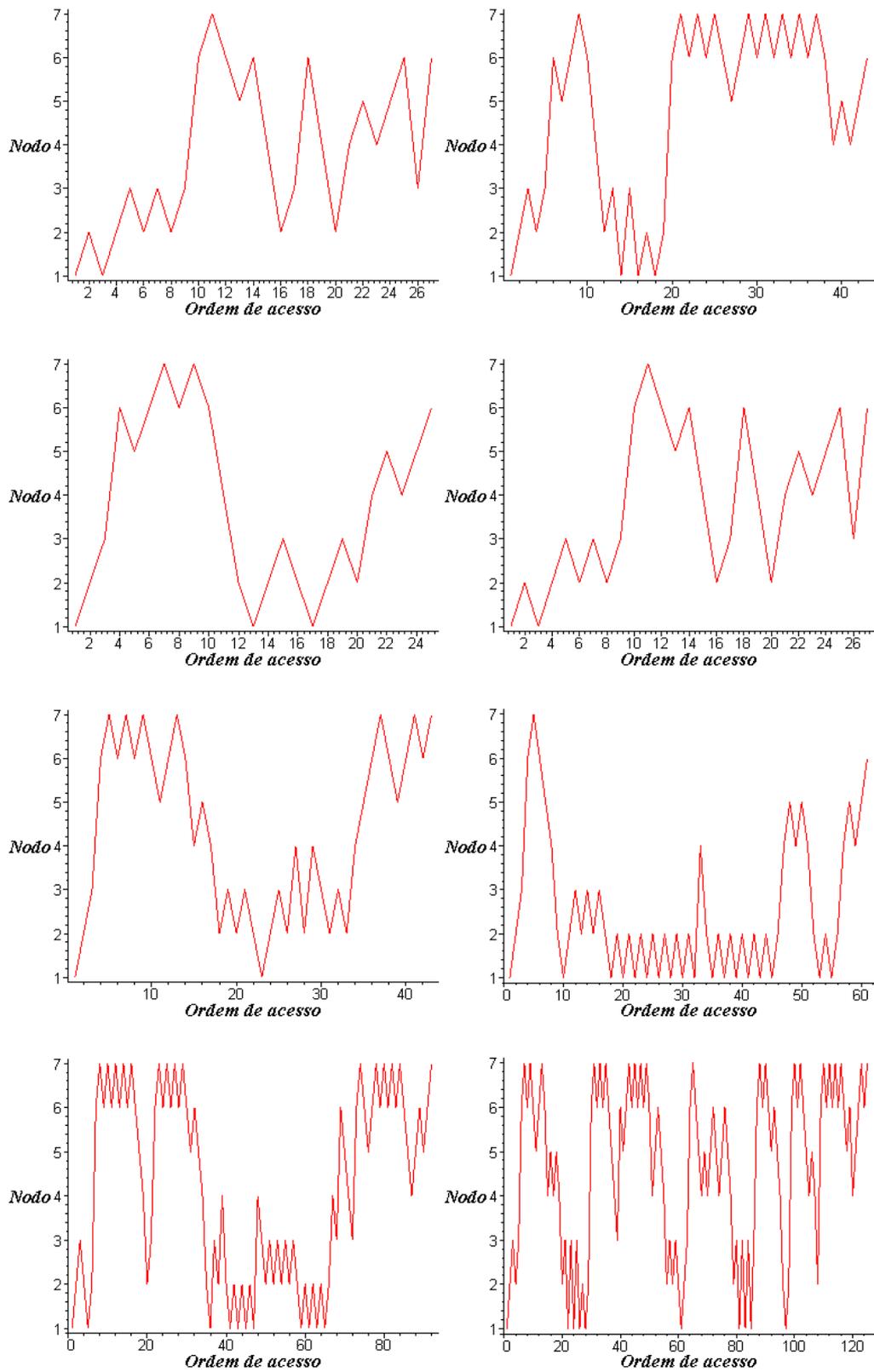


Figura 5.6 Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 10 e análise de blocos coesos (cont).

5.2.2.6 Análise dos blocos coesos com notas variando entre 1 e 7

O objetivo deste item é verificar a influência do coeficiente de quantização que se refere aos blocos coesos em casos de má avaliação dos nodos. Para isso, foi utilizado o valor de p_b igual a 0.8 e utilizadas as mesmas definições para a caracterização da rede e dos coeficientes de quantização. Foram simuladas situações aleatórias em que a nota tinha uma variação entre 1 e 7 e os resultados mais representativos são mostrados na figura 5.11.

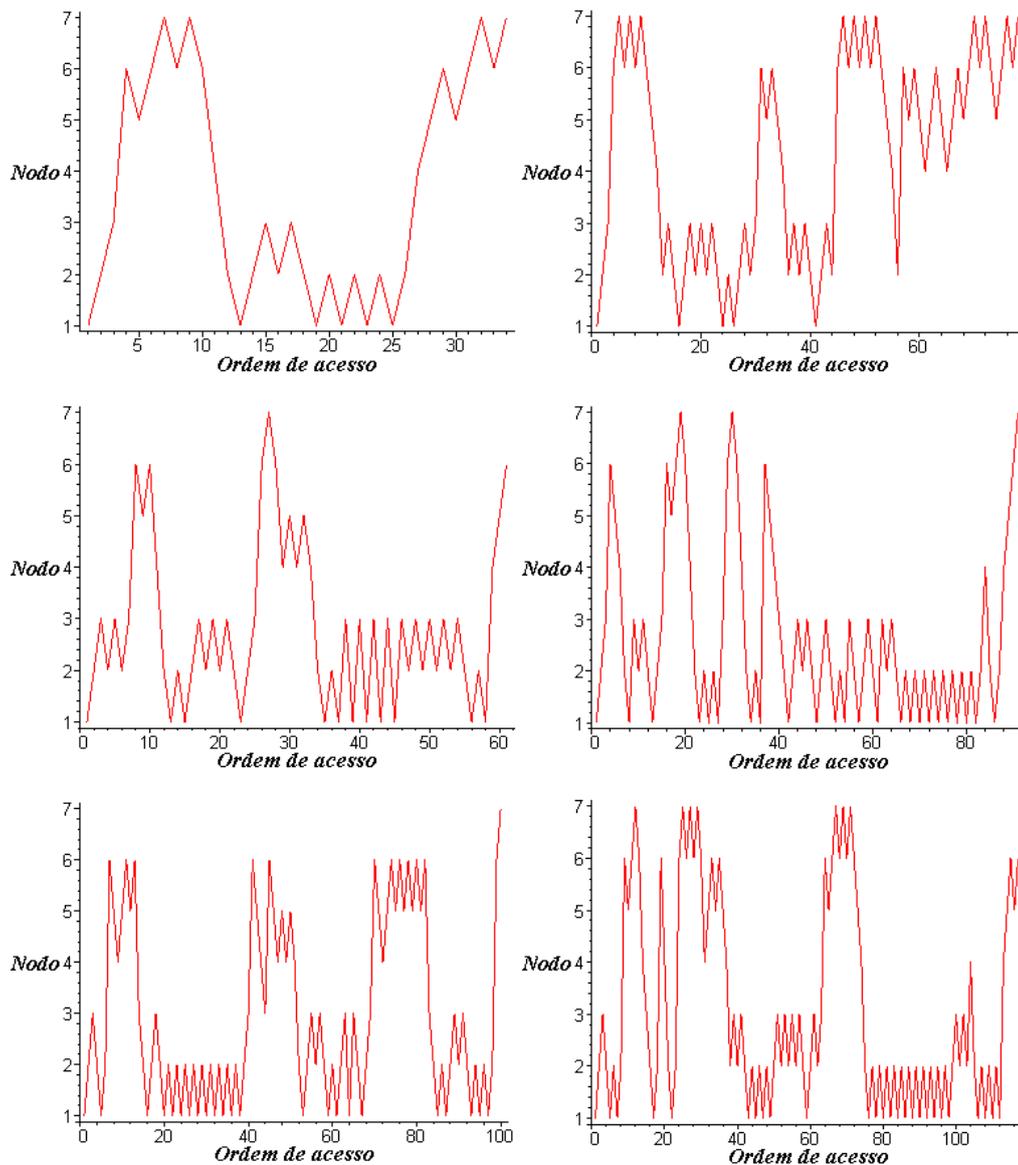


Figura 5.7 Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 7 e análise de blocos coesos.

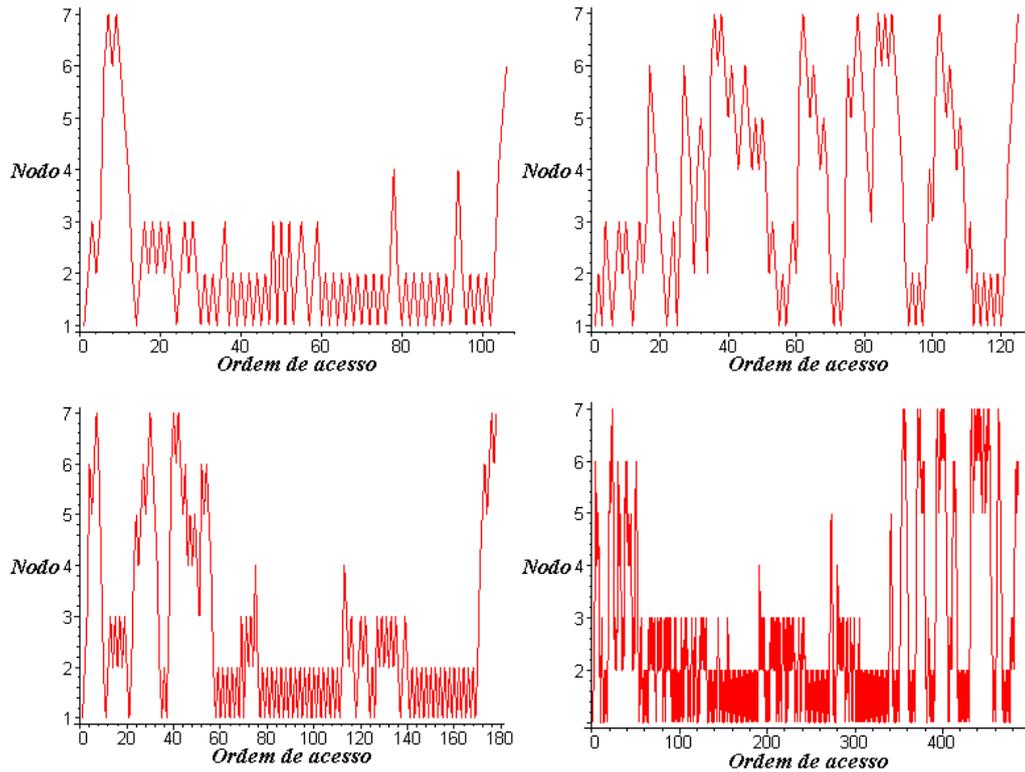


Figura 5.8 Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 7 e análise de blocos coesos (cont).

5.2.2.7 Análise da alta influência dos blocos coesos com notas variando entre 4 e 10

O objetivo deste item é verificar o comportamento da rede no caso de alta influência dos blocos coesos e boa avaliação dos nodos. Para isso, foi utilizado o valor de p_b igual a 5 e utilizadas as mesmas definições para a caracterização da rede e dos coeficientes de quantização. Foram simuladas situações aleatórias em que a nota tinha uma variação entre 4 e 10 e os resultados mais representativos são mostrados na figura 5.12.

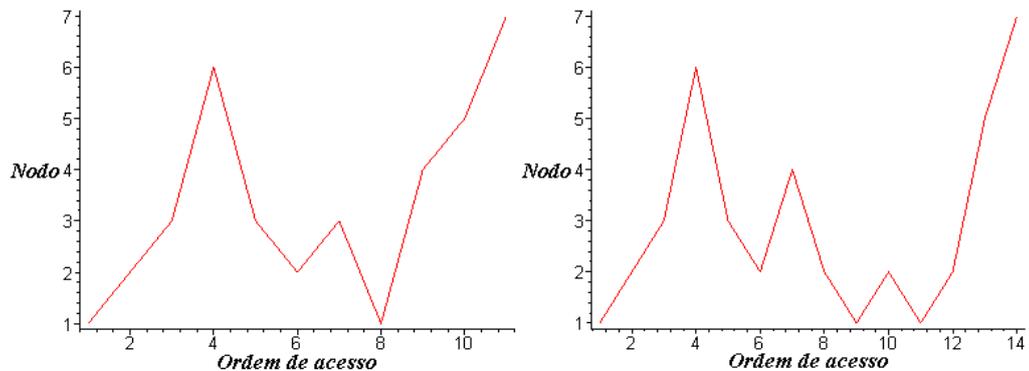


Figura 5.9 Simulações de navegação adaptativa com alta influência de blocos coesos.

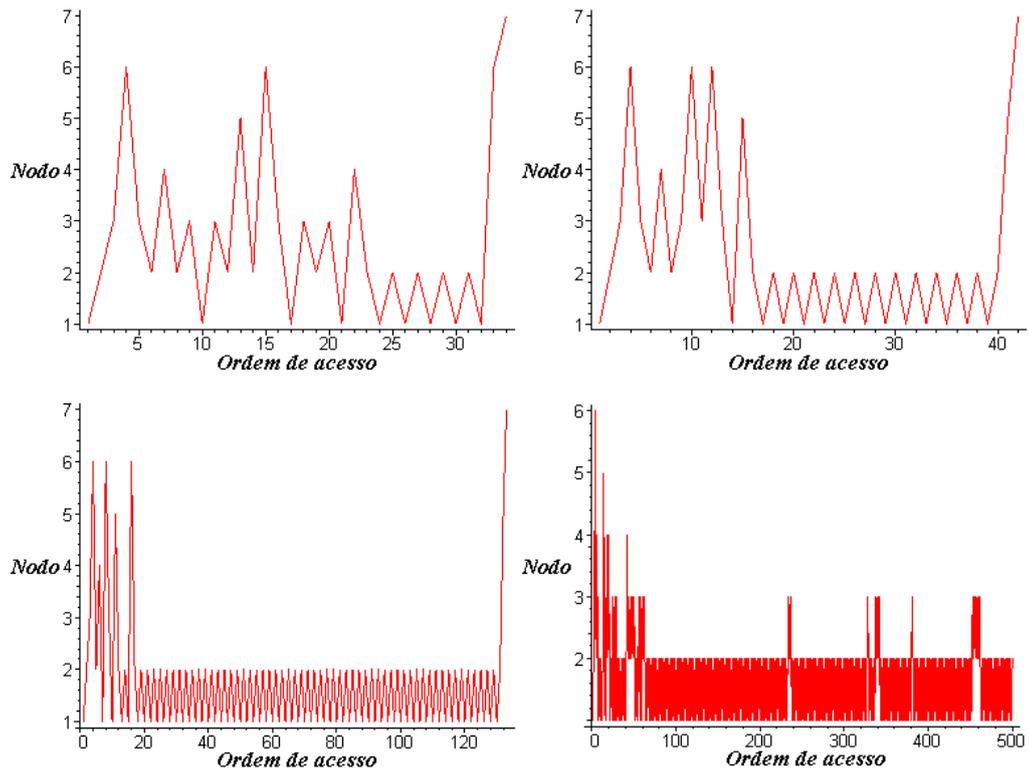


Figura 5.10 Simulações de navegação adaptativa com alta influência de blocos coesos (cont).

Neste último gráfico, o simulador chegou a um critério de parada especificado de 500 acessos e, portanto, não concluiu a avaliação satisfatória em todos os nodos da rede. Isso porque os controles do modelo não foram utilizados corretamente pelo simulados, haja vista que a variável p_b permaneceu constante mesmo após a conclusão do bloco coeso. Esse e outros aspectos dos resultados obtidos nas simulações serão discutidos no próximo item desta tese.

5.2.3 Simulações em uma Rede Ausubeliana

Para fazer a simulação de uma rede ausubeliana, foi construída a modelagem de um domínio com os mesmos arquivos utilizados na rede behaviorista com uma organização de nodos diferenciada (figura 5.13)

5.2.3.1 Exemplo de modelo de domínio de uma rede ausubeliana

Nesse modelo foram utilizados os mesmos 7 nodos e 21 arquivos da rede behaviorista. Contudo, os OAM's foram organizados em forma de mapa conceitual e o modelo do domínio é mostrado na figura 5.13.

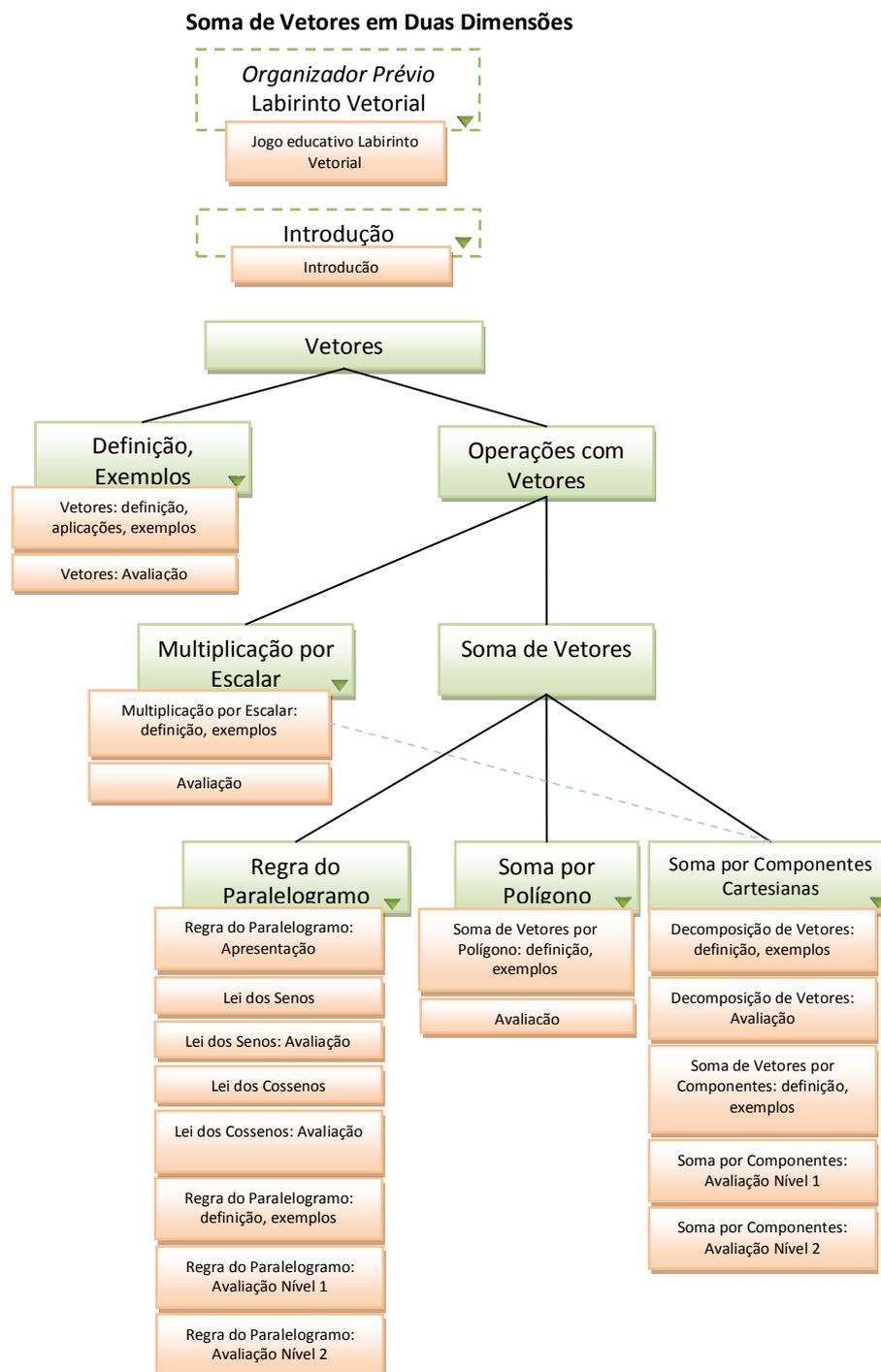


Figura 5.11 Exemplo de rede ausubeliana.

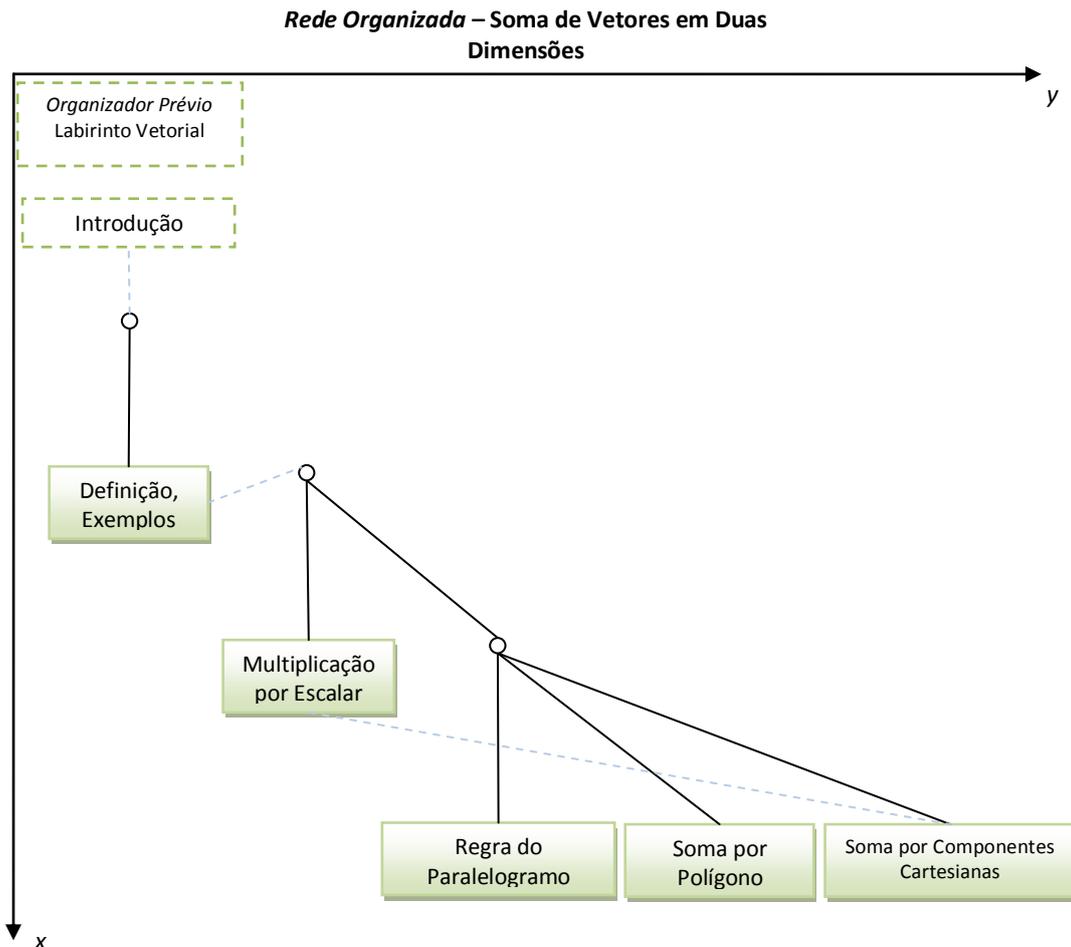


Figura 5.12 Exemplo de rede ausubeliana organizada.

Com a rede organizada (figura 5.14), é possível identificar os seguintes blocos coesos:

1. B11: Labirinto Vetorial
2. B12: Introdução
3. B13: Introdução, Definição
4. B14: Introdução, Definição, Multiplicação por Escalar
5. B15: Introdução, Definição, Regra do Paralelogramo
6. B16: Introdução, Definição, Soma por Polígono
7. B17: Introdução, Definição, Multiplicação por Escalar, Soma por Componentes Cartesianas

Para esse exemplo, foi utilizada a seguinte hierarquia de blocos coesos:

Nível 1: B1 1, B1 2, B13, B1 7

Nível 2: B1 5

Nível 3: B1 4, B1 6

Sobre esse exemplo de modelagem de domínio, foram realizados os seguintes testes:

5.2.3.2 Aluno no fluxo normal com notas sempre acima da nota mínima para aprovação

Dados de entrada

```
nodos=[[0,0],[1,0],[2,0],[3,0],[4,0],[5,0],[6,0]]
blocos=[[1],[1,2],[1,2,3],[1,2,4],[1,2,5],[1,2,3,6],[7]]
hierarquia_bl=[[1,2,6],[4,7],[3,5]]
ka0=5
vax=5
conf_dir=0.8
pe=0
pb=0.2
v=2
c0=1
expertise=10
p_bom=0.5
nodo_prox=1
```

Além desses valores, foi utilizada uma faixa aleatória de notas variando de 5 a 10 e em todos os casos o resultado foi o mesmo exibido na figura 5.15. Do mesmo modo que foi feito para os gráficos de percurso para a rede behaviorista, foram utilizados segmentos de reta fazendo a ligação entre os pontos de acesso para facilitar a análise do percurso do estudante.

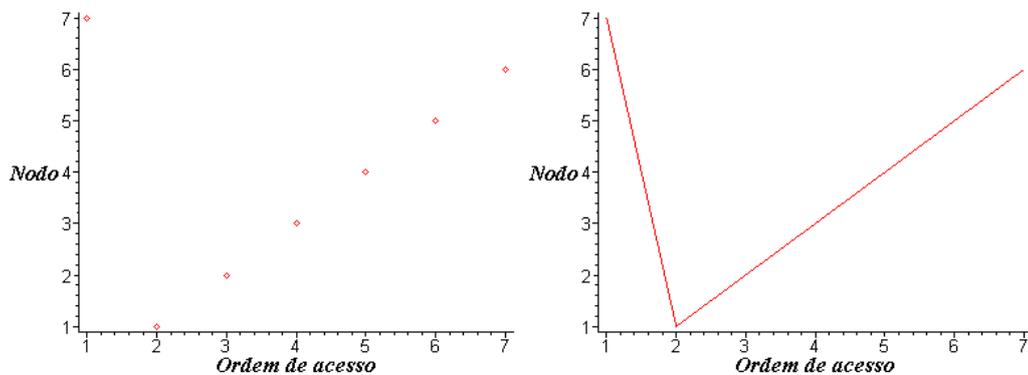


Figura 5.13 Gráficos do percurso do estudante (ordem de acesso *versus* nodo acessado).

5.2.3.3 Aluno no fluxo normal com notas variando entre 1 e 10

Além das mesmas definições para a caracterização da rede e dos coeficientes de quantização, foram simuladas situações aleatórias em que a nota tinha uma variação entre 1 e 10. Os resultados mais representativos são na figura 5.16.

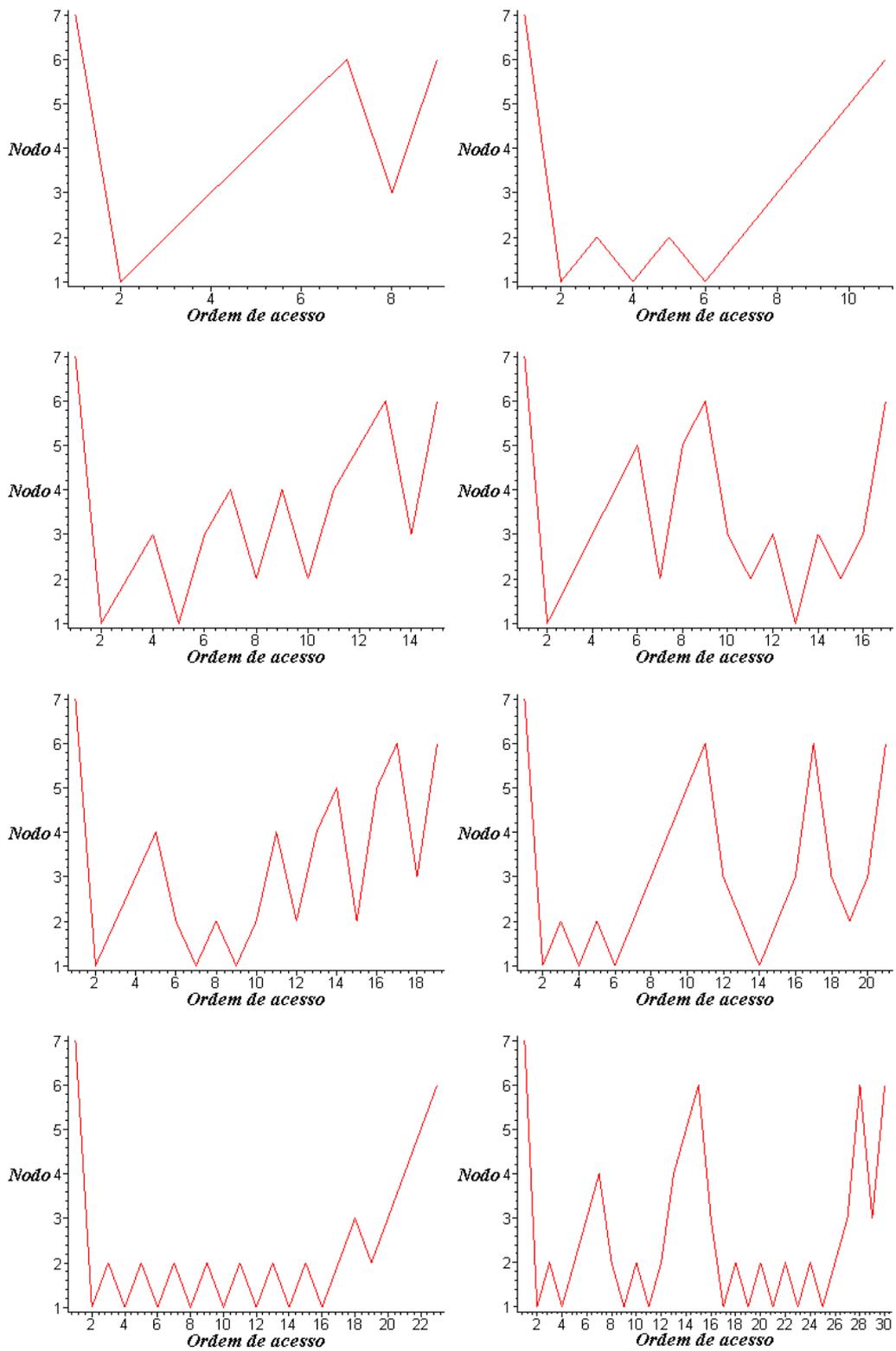


Figura 5.14 Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 10.

5.2.3.4 Aluno no fluxo normal com notas variando entre 1 e 7

Utilizando as mesmas definições para a caracterização da rede e para os coeficientes de quantização, foram simuladas situações aleatórias em que a nota tinha uma variação entre 1 e 7. O objetivo era verificar o comportamento da rede com avaliações ruins e os resultados mais representativos são mostrados na figura 5.17.

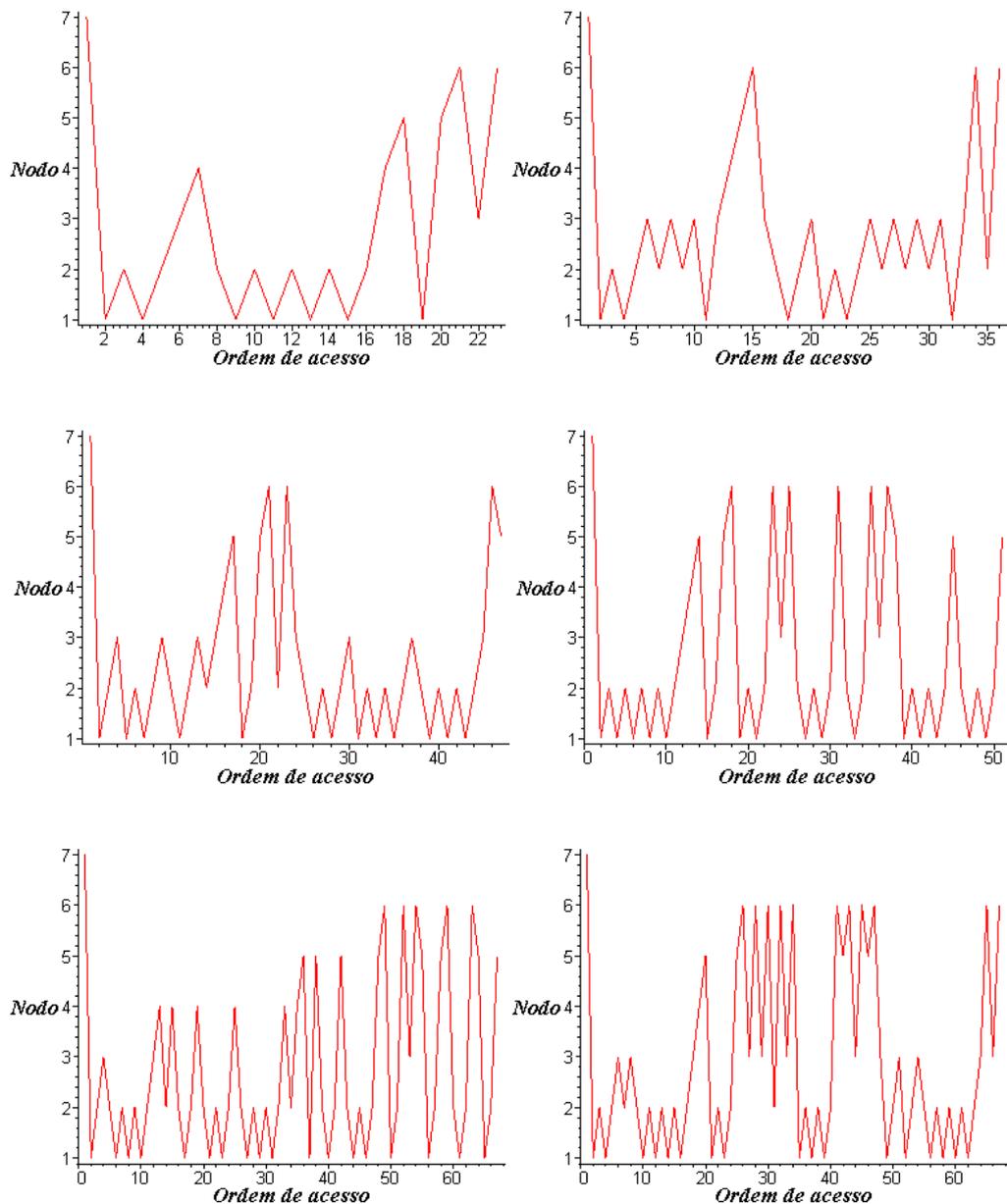


Figura 5.15 Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 7.

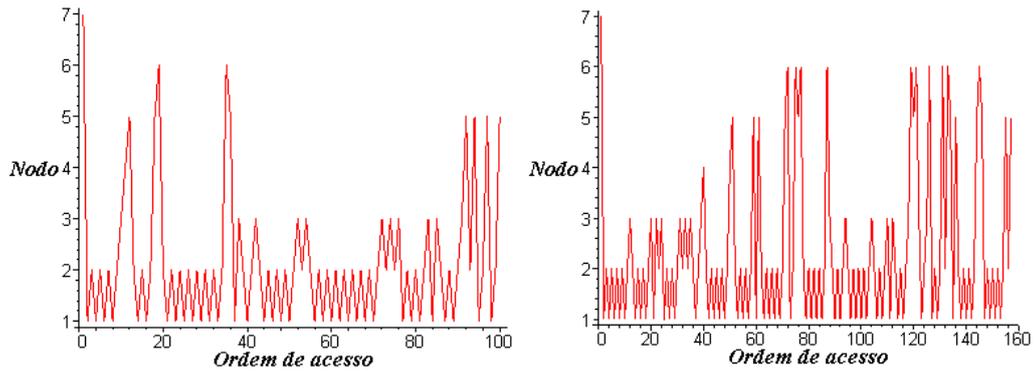


Figura 5.16 Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 7 (cont).

5.2.3.5 Análise dos blocos coesos com notas variando entre 1 e 10

O objetivo deste item é verificar a influência do coeficiente de quantização que se refere aos blocos coesos. Para isso, foi alterado o valor de p_b de 0.2 para 0.8 e utilizadas as mesmas definições para a caracterização da rede e dos coeficientes de quantização. Foram simuladas situações aleatórias em que a nota tinha uma variação entre 1 e 10 e os resultados mais representativos são mostrados na figura 5.18.

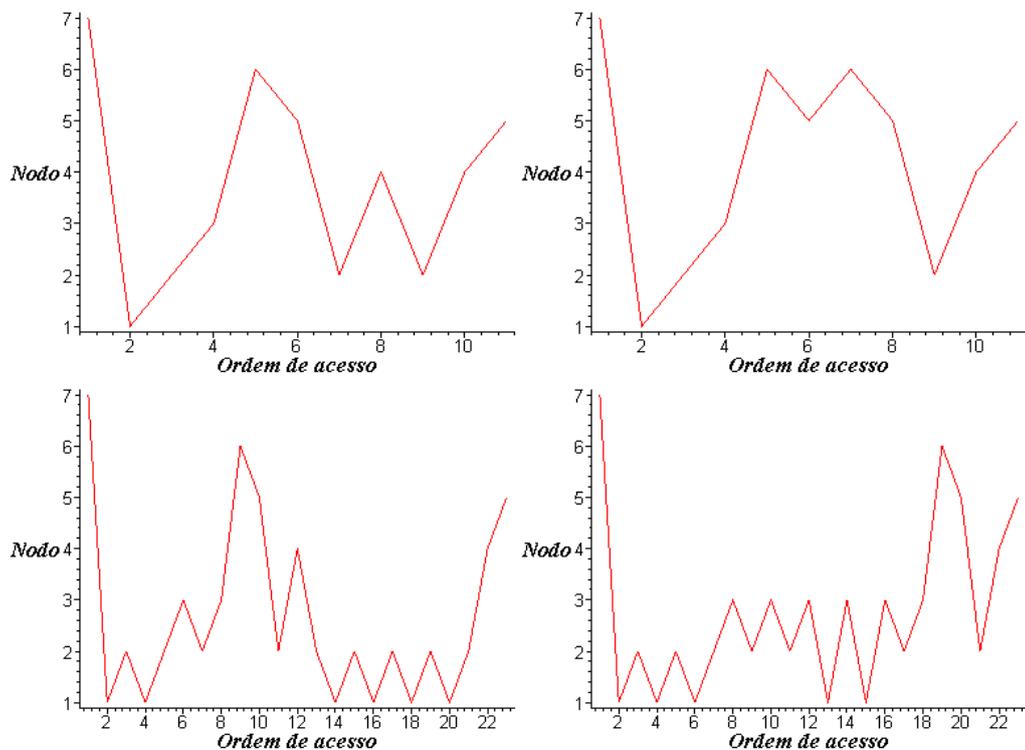


Figura 5.17 Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 10 e análise de blocos coesos.

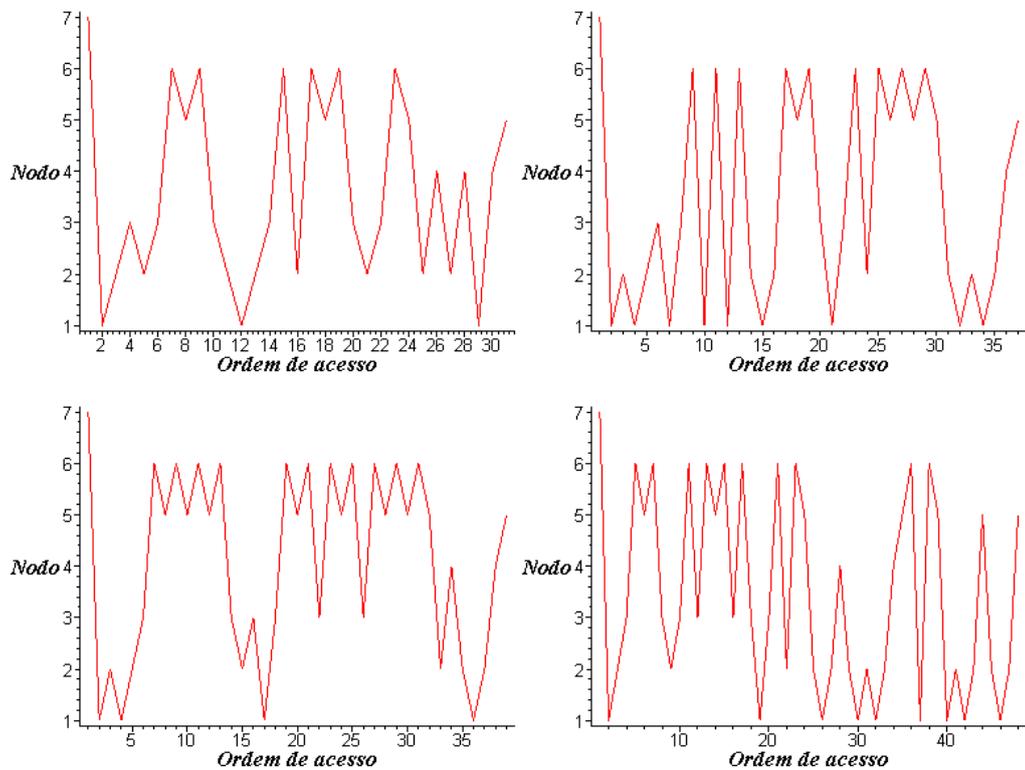


Figura 5.18 Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 10 e análise de blocos coesos (cont).

5.2.3.6 Análise dos blocos coesos com notas variando entre 1 e 7

O objetivo deste item é verificar a influência do coeficiente de quantização que se refere aos blocos coesos em casos de má avaliação dos nodos. Para isso, foi utilizado o valor de p_b igual a 0.8 e utilizadas as mesmas definições para a caracterização da rede e dos coeficientes de quantização. Foram simuladas situações aleatórias em que a nota tinha uma variação possível entre 1 e 7 e os resultados mais representativos são mostrados na figura 5.19.

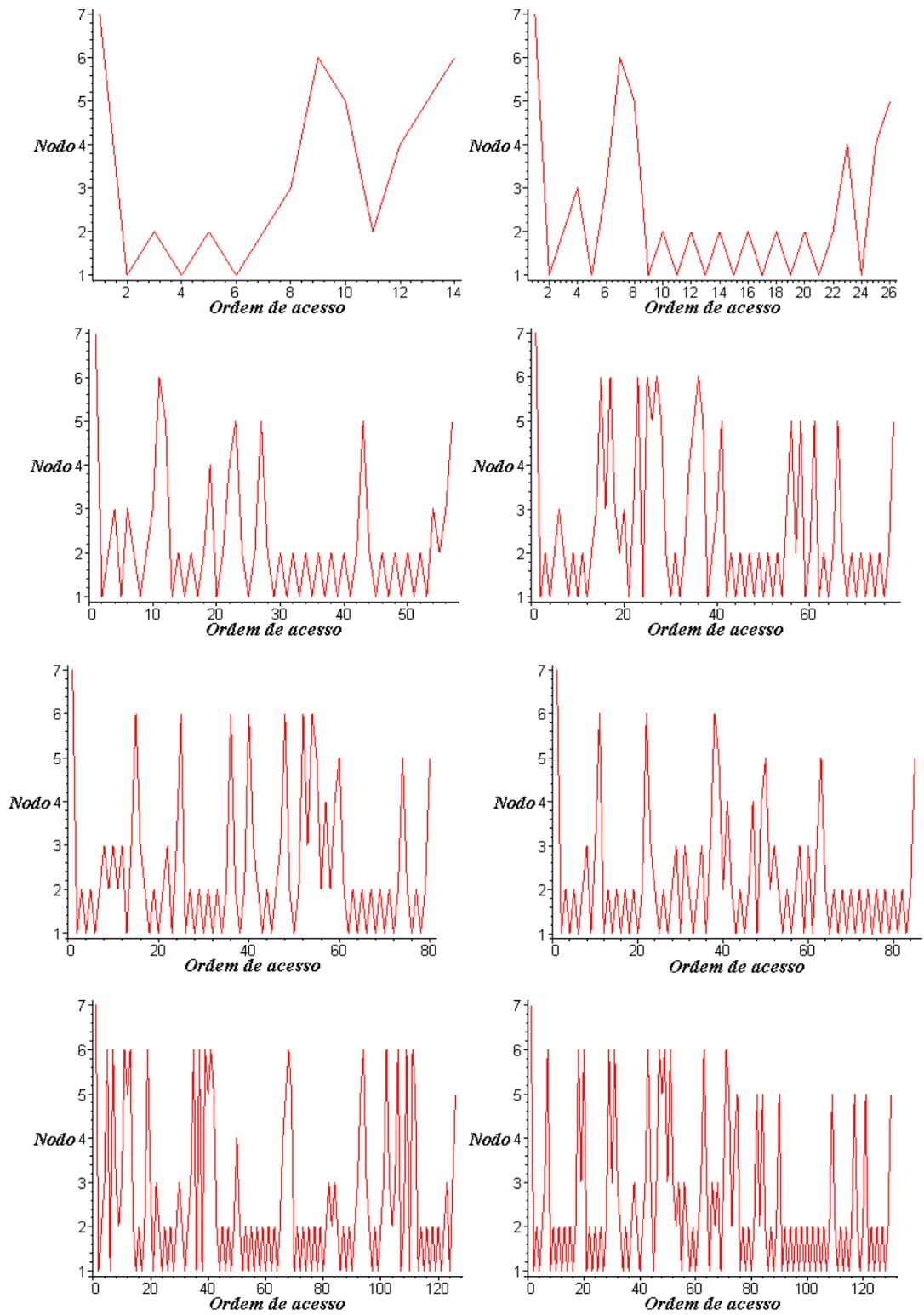


Figura 5.19 Simulações de navegação adaptativa com avaliações de 1 a 7 e análise de blocos coesos.

5.2.3.7 Análise da alta influência dos blocos coesos com notas variando entre 4 e 10

O objetivo deste item é verificar o comportamento da rede no caso de alta influência dos blocos coesos e boa avaliação dos nodos. Para isso, foi utilizado o valor de p_b igual a 5 e utilizadas as mesmas definições para a caracterização da rede e dos coeficientes de quantização. Foram simuladas situações aleatórias em que a nota tinha uma variação entre 4 e 10 e os resultados mais representativos são mostrados na figura 5.20.

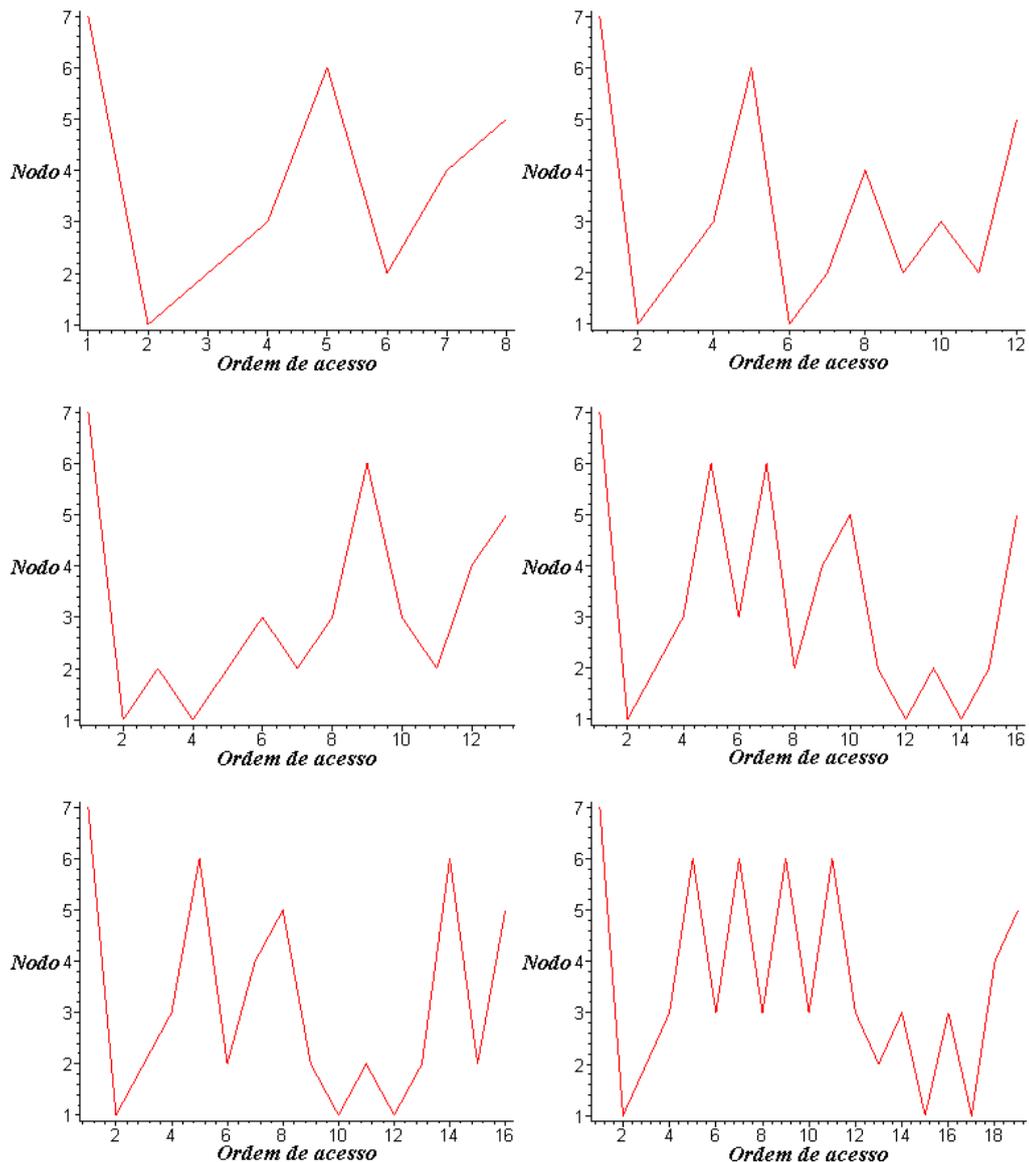


Figura 5.19 Simulações de navegação adaptativa para alta influência de blocos coesos.

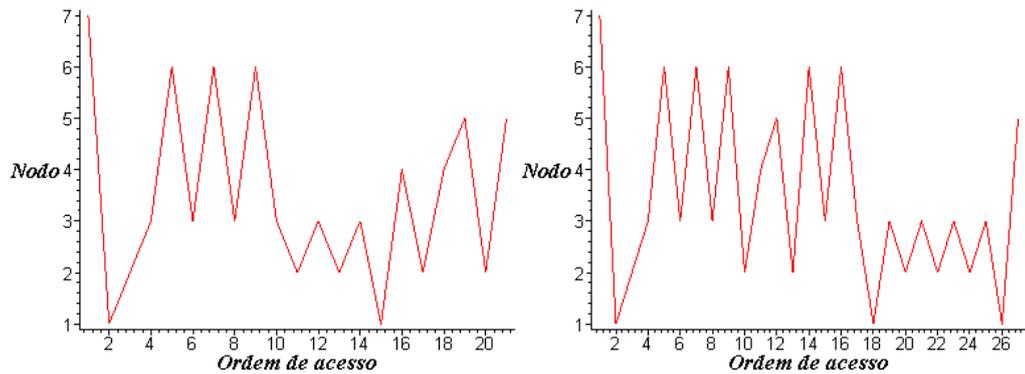


Figura 5.20 Simulações de navegação adaptativa para alta influência de blocos coesos (cont).

5.2.4 Discussão dos Resultados da Simulação Computacional

Ao se considerar um modelo novo que tenha um espaço de aplicação novo ou alternativo, deve-se ter em mente alguns casos específicos onde o modelo possa ser utilizado e que mostre claramente o que o diferencia dos demais.

Contudo, se a validação é feita em torno de um número pequeno de situações, seu domínio também é reduzido já que outros atributos não foram estudados. O objetivo de se utilizar um simulador de situações em que uma faixa de valores é definida e testada de modo a verificar o comportamento e a estabilidade do modelo. Com essa estratégia, foram experimentadas centenas de situações, inclusive, algumas bastante improváveis como, por exemplo, a situação de haver três nodos sequenciais A, B e C e o estudante obter 10 em A, 0 em B, 10 em A, 0 em B e 0 em A. Note que se um estudante foi bem avaliado em A, é improvável que em um momento posterior ele consiga uma nota muito inferior. Mesmo assim, é interessante verificar como a quantização de redes responde a questões como essa.

Sendo assim, a discussão será em torno dos gráficos em sequencias especiais em que se pode comprovar que os objetivos propostos foram alcançados com a modelagem propostas.

O primeiro gráfico em ambas as teorias de aprendizagem foram conforme esperado, ou seja, com a baixa influência dos blocos coesos e com notas acima do satisfatório, o estudante seguiu a ordem prevista de acessos conforme mostra os gráficos da figura 5.21.

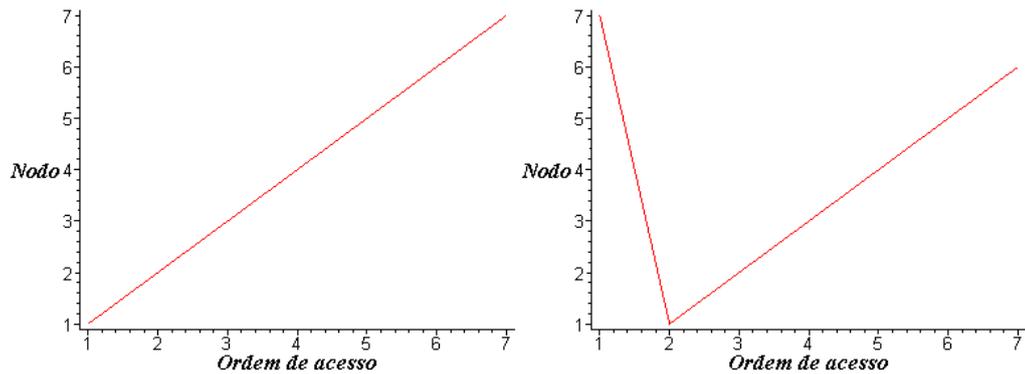


Figura 5.21 Ordem de acesso no fluxo normal de duas redes.

Sendo que a ordem de acesso somente sofre alteração quanto à posição do simulador (nodo 7) que, no Behaviorismo serve como reforço da aprendizagem e quanto ele é exibido preferencialmente no início pois está sendo utilizado como organizador prévio.

Além disso, ao se estudar todos os gráficos do Behaviorismo com baixa influência de blocos coesos, houve um padrão dos gráficos em relação à inclinação dos gráficos. Percebe-se que tanto em retas com inclinação positiva ou negativa, o módulo da inclinação permanece inalterado como é possível perceber na figura 5.22, em que os círculos destacam a inclinação nos gráficos.

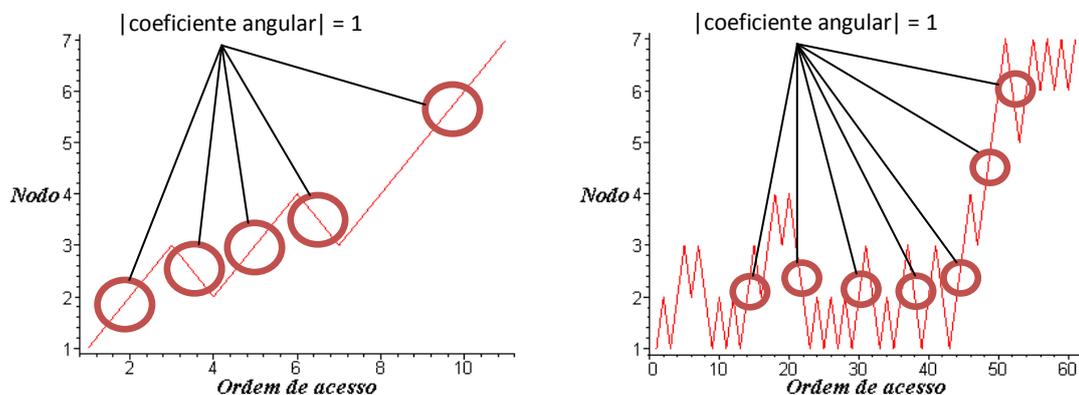


Figura 5.22 Verificação do padrão dos coeficientes angulares do percurso em redes behavioristas com baixa influência de blocos coesos.

Apesar dos resultados obtidos estarem de acordo com o esperado, foi possível identificar um caso especial que não pode ser simulado por meio do simulador de situações que é acerca da avaliação com baixa confiabilidade. O caso é em uma sequência de nodos A, B, C e D, e o estudante tirou as seguintes boas notas nos primeiros três nodos, mas, com uma baixa confiabilidade na avaliação referente ao segundo nodo. Se no quarto nodo houver

uma avaliação considerada não satisfatória, então o próximo nodo indicado pela modelagem deveria ser o nodo B devido à essa baixa confiabilidade.

Para verificar essa situação particular, foi utilizado o simulador do modelo que permite intervenções a cada mudança de nodo e foram inseridos os seguintes dados:

ka0 = 2
vax = 5
pe = 0
pb = 0.2
v = 5
c0 = 1
expertise = 10
p_bom = 0.5

Com isso, foram inseridos sempre avaliações acima do considerado satisfatório com exceção da primeira avaliação do nodo 4. Foram sempre inseridas confiabilidades de 0.80 com exceção da primeira confiabilidade do nodo 2 que foi de 0.10. O resultado obtido está exibido na figura 5.23.

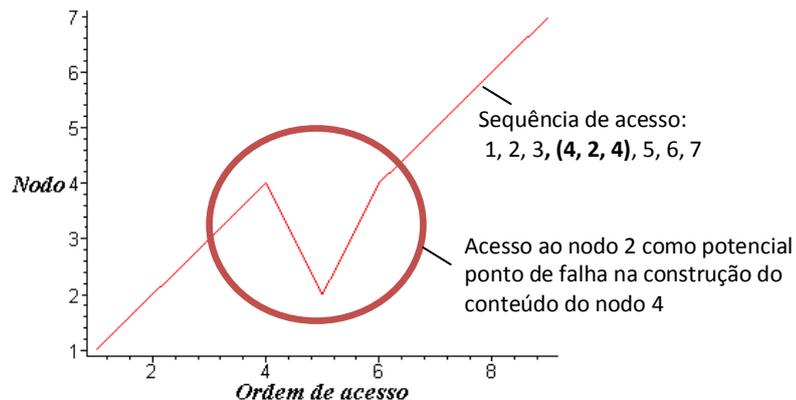


Figura 5.23 Acesso a nodo com potencial falha no processo avaliativo.

Por simples inspeção na figura 5.23, é possível perceber que o sistema identificou uma potencial falha de avaliação no nodo 2 e que, após uma reavaliação, o aluno retomou o percurso natural da estrutura do curso.

Nos demais resultados já obtidos para a rede behaviorista, a mudança na inclinação das semi-retas de acesso aos nodos só voltou a ocorrer ao se alterar o coeficiente p_B que especifica o nível de importância dos blocos coesos. Desse modo, foi possível verificar que

realmente houve uma tendência maior em busca dos blocos coesos nas simulações ao se alterar o valor de p_b (figura 5.24).

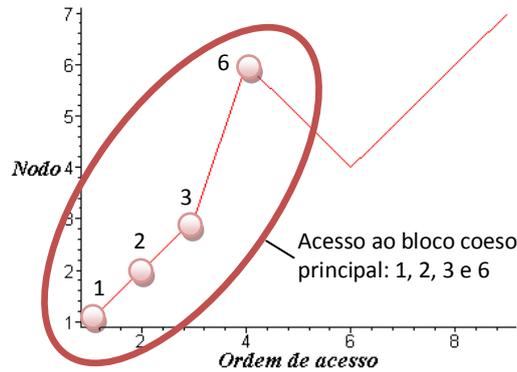


Figura 5.24 Navegação em direção aos blocos coesos principais.

Um resultado que é muito importante dentro da rede behaviorista foi em relação ao alto valor de influência dos blocos coesos em que um acesso aos nodos dos principais blocos coesos limitou o acesso aos demais nodos, em especial, ao nódo 7 que faz parte de um bloco coeso com importância mediana e unitário (figura 5.25). Isso poderia (e deveria) ser resolvido facilmente com a redução de p_b após o acesso aos nodos principais.

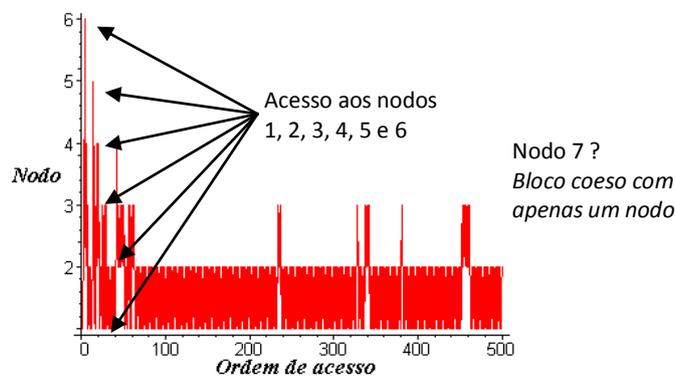


Figura 5.25 Dificuldade de acesso a um nódo da rede behaviorista devido a uma falha no gerenciamento da variável de influência de blocos coesos.

Os resultados para a rede ausubeliana também são bastante interessantes e validam a busca dos nodos da rede, principalmente nos momentos de avaliações não satisfatórias. Logo nos primeiros resultados é possível observar que nos percursos em direção ao fluxo normal da rede, desconsiderando a tendência dos blocos coesos, existe sempre uma mesma inclinação positiva quando o acesso é feito aos nodos pela primeira vez, contudo, as inclinações negativas são bastante diferentes em valor absoluto, pois buscam os conceitos prévios para

um nodo com avaliação insatisfatória. Na fase de recuperação também não há a mesma inclinação, o que indica que o modelo oferece uma volta mais rápida para o nodo que foi mal avaliado (figura 5.26).

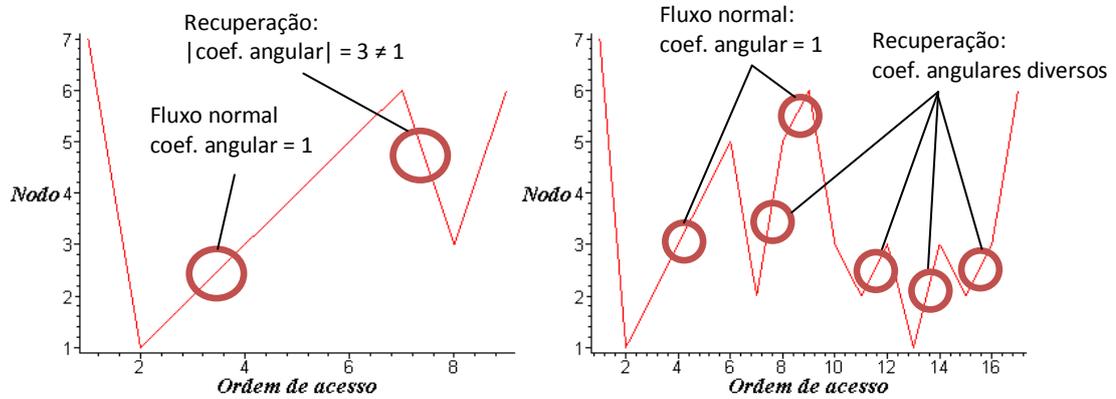


Figura 5.26 Análise dos coeficientes angulares em fluxo normal e recuperação na rede ausubeliana de exemplo.

Além disso, é interessante notar que mesmo não havendo nenhum tipo de análise condicional ou registro em variáveis indexadas sobre o percurso feito pelo estudante, a modelagem grossa do domínio feita por redes quantizadas indicou a volta aos últimos nodos em que houve uma avaliação não satisfatória. A figura 5.27 mostra a recuperação da nota nos nodos 3, 5 e 6, sendo que na recuperação do nodo 6 foi identificada uma falha na avaliação de 3 e que, por sua vez, houve o acesso aos nodos 2 e 1 para construção de conceitos. Por fim, houve o retorno imediato ao nodo inicialmente com avaliação insatisfatória, nodo 6. Ou seja, a figura 5.27 mostra que, mesmo não havendo um registro do percurso feito pelo estudante, a rede quantizada indicou que haveria uma tendência de acesso aos nodos.

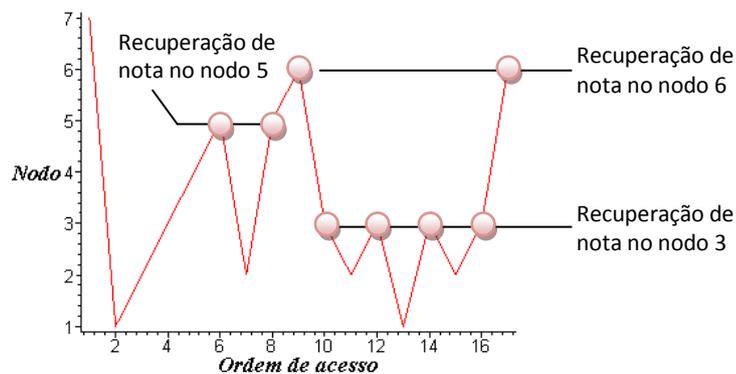


Figura 5.27 Recuperação de nota em nodos da rede.

Ao se aumentar o valor da influência dos blocos coesos, os resultados mostraram que houve uma tendência de acesso aos blocos mais importantes e as inclinações positivas do percurso são alteradas (figura 5.28).

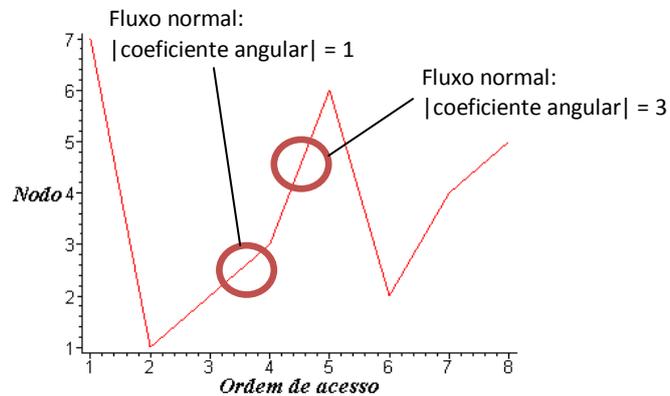


Figura 5.28 Acesso preferencial aos blocos coesos.

Uma diferença interessante entre os dois tipos de formulação para as redes foi que mesmo com valores extrapolados do coeficiente de importância dos blocos coesos e com a geração aleatória das notas, o sistema respondeu bem e não demorou a obter avaliações satisfatórias em todos os nodos, diferentemente da primeira rede que deve-se alterar o valor desse coeficiente.

5.3 AVALIAÇÃO DE ESPECIALISTAS

O objetivo de submeter o modelo a especialistas é verificar aspectos que não puderam ser analisados diretamente pelos simuladores e identificar particularidades pelo uso deles. Além disso, deseja-se realizar uma avaliação crítica do modelo de domínio como um todo e de sua aplicação no esquema proposto para o Sistema de Tutoria Inteligente aplicado a Objetos de Aprendizagem Multifomes (STI-OAM). Especificamente, tais julgamentos devem:

- Verificar a aplicabilidade do STI-OAM em contextos educacionais e, em especial, na educação a distância;
- Verificar se os OAM's fornecem um nível diferenciado de adaptação do conteúdo quando comparado a outros objetos educacionais;

- Discutir a viabilidade de construção de um modelo de domínio grosso de acordo com os conceitos principais para quantização de redes;
- Averiguar se os modelos construídos caracterizam diferentes teorias de aprendizagem;
- Analisar se as variáveis do sistema e os coeficientes de quantização influenciam na trajetória do aluno buscando percursos de aprendizagem adequados;
- Verificar se os coeficientes de quantização e demais variáveis de controle do modelo oferecem condições suficientes para adaptação do sistema de acordo com as características do estudante;
- Verificar a eficiência do modelo em indicar um trajeto para o estudante de acordo com metodologias didáticas se adaptando às necessidades de ensino;
- Detectar particularidades e simular tais situações dentro do modelo;
- Verificar a flexibilidade do modelo em ampliar para novas teorias de aprendizagem e estratégias de ensino;
- Fazer uma análise crítica da modelagem de domínio proposta e do STI-OAM.

5.3.1 Critérios para Seleção dos Especialistas

Para a escolha dos especialistas, foram pesquisados profissionais em dois grupos: **(Grupo 1)** doutores em Educação ou Psicologia por Instituições reconhecidas pelo alto padrão de qualidade acadêmica e científica, que tivessem larga produção científica e experiência docente, além de terem experiência na construção de softwares para o ensino personalizado e em Educação a Distância; e **(Grupo 2)** Engenheiro com Doutorado em Engenharia ou áreas afins que tivesse experiência docente em cursos de Engenharia, produção científica e pesquisador em inteligência artificial e sua aplicação em sistemas especialistas e educação a distância.

Foram contatados três especialistas com esse perfil, dois do primeiro grupo e um do segundo grupo e abaixo seguem os respectivos minicurrículos.

5.3.1.1 *Minicurrículo do Especialista A*

Possui graduação e Mestrado em Psicologia, Doutorado em Ciências do Comportamento, experiência de oito anos no ensino superior e especialista no Behaviorismo utilizado para o ensino. Possui ainda experiência na área de Psicologia, com ênfase em Equivalência de Estímulos, atuando na análise experimental do comportamento, metacontingências, análise do comportamento, comportamento social e sistema personalizado de ensino. Possui uma dezena de artigos publicados nos últimos cinco anos em periódicos e dois livros publicados abordando os temas citados. Também atua na construção de softwares para o ensino personalizado já tendo desenvolvido mais de 20 programas para computador. Em Educação a Distância, tem experiência em projetos de cursos e experimentações on-line além de ter sido professor conteudista de um módulo sobre Psicologia da Aprendizagem para curso de especialização.

5.3.1.2 *Minicurrículo do Especialista B*

Possui graduação em Pedagogia, Mestrado em Educação e Doutorado em Filosofia e Ciências da Educação. Possui vários artigos publicados em periódicos e congressos nacionais e internacionais, sete livros publicados sobre o ensino de Ciências, Psicologia do Conhecimento e Educação a Distância. Foi Coordenador de projetos de pesquisa na área de Educação a Distância, inclusive atuando no tema de elaboração de materiais didáticos para EAD, e foi vice-diretor da Faculdade de Educação da qual é professor há 22 anos.

5.3.1.3 *Minicurrículo do Especialista C*

Engenheiro Cartográfico, com Mestrado em Sistemas e Computação e dois doutorados, um em Altos Estudos Militares e outro em Ciência da Informação. Possui larga experiência profissional, sendo Coronel Engenheiro e representando o Ministério da Defesa brasileiro em várias missões nacionais e internacionais com 6 premiações de ministérios ou órgãos brasileiros. O especialista se dedica à docência e à pesquisa em cursos de Engenharia, Ciência da Computação e Sistemas de Informação nos últimos 16 anos e possui várias publicações em periódicos e congressos. Coordena projeto de pesquisa sobre a construção de um sistema especialista de diagnóstico de doenças infantis e outro congênere para

detecção de panes em redes de computadores. É professor da disciplina de inteligência artificial para cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia da Computação, tendo experiência também com educação a distância nessa mesma disciplina, ministrando-a on-line com o suporte de um ambiente virtual de aprendizagem. Por diversas vezes, orientou trabalhos e participou de bancas examinadoras na área de sistemas especialistas.

5.3.2 Metodologia para a Aplicação da Pesquisa

A pesquisa aos especialistas foi realizada de modo a evitar a interação entre os sujeitos, ou seja, foi realizada por um especialista de cada vez. Contudo, a metodologia de aplicação do questionário foi sempre a mesma.

Foram realizados um ou mais encontros com cada especialista, de acordo com a necessidade de uma maior explanação, debate ou simulações do modelo proposto. Tais reuniões duraram entre 5 e 8,5 horas e cada um dos pesquisadores recebeu antecipadamente os textos contendo o desenvolvimento do trabalho e as simulações computacionais realizadas, o que corresponde ao capítulo 4 e aos subitens 5.1 e 5.2 desta tese.

As reuniões foram feitas com o objetivo de que o modelo fosse discutido em sua completude e, para isso, foram apresentados: a motivação do trabalho; a arquitetura do STI-OAM e comparada a outros sistemas; as teorias que oferecem suporte teórico à tese; o desenvolvimento da modelagem grossa do domínio por redes quantizadas em todos os detalhes, inclusive a formulação matemática; a modelagem média e as funções heurísticas; o uso dos objetos multiformes para a modelagem fina do domínio, incluindo a arquitetura e exemplos de objetos de teoria, de teste e de simulação. Foram também apresentados e discutidos os resultados obtidos por meio de simulações e, por fim, realizadas simulações sobre o modelo de exemplo e sobre situações sugeridas pelo especialista. Em todo momento das reuniões, deixou-se o ambiente livre e propício para intervenções do especialista sobre o modelo, simulador ou quaisquer outros aspectos relevantes à tese.

Após essa fase de apresentação e debate do STI-OAM e da modelagem de domínio, foi solicitada uma análise crítica escrita da tese a ser enviada por correio eletrônico para registro da confiabilidade da fonte. Para que os especialistas tivessem uma orientação

quanto aos aspectos principais a serem abordados, cada um deles recebeu um questionário com cinco questões abertas que não deviam ser respondidas individualmente, e sim, contempladas na análise feita. O questionário enviado aos especialistas está registrado no Apêndice A deste trabalho.

5.3.3 Análise Crítica do STI-OAM e do Modelo de Domínio Proposto

A análise da proposta desta tese por parte dos especialistas foi feita tendo como base a arquitetura proposta para o STI-OAM e a modelagem de domínio realizada no capítulo anterior e os resultados estão organizados por especialista.

5.3.3.1 Análise Crítica do Especialista A

Após as reuniões presenciais com o Especialista A e dos textos com a descrição da modelagem e com os resultados computacionais, foi feita uma análise crítica do trabalho iniciando com a utilidade do sistema proposto:

O uso de tecnologias advindas da informática e das ciências da computação, aliado ao desenvolvimento de tecnologias comportamentais/pedagógicas, tem se mostrado cada vez mais frequente no contexto educacional (Todorov, Moreira & Martone, 2009). A velocidade com que novas tecnologias têm surgido, em ambos os domínios, torna difícil a tarefa do educador de acompanhar tal desenvolvimento. Neste sentido, um sistema como o proposto (STI-OAM) constitui uma inovação extremamente útil tanto para o ensino presencial como para a Educação a Distância, já que é capaz de unir tecnologias de diferentes domínios de uma forma interativa e adaptativa.

Depois, o especialista abordou aspectos específicos dos objetos de aprendizagem defendidos para a modelagem fina e fez uma análise sobre sua capacidade de adaptação:

Os Objetos de Aprendizagem Multiformes (OAM's), quando comparado a outros objetos educacionais, fornecem um nível diferenciado de adaptação não só ao conteúdo (diferentes conteúdos), mas também à forma de apresentação e re-apresentação de um mesmo conteúdo. Essa característica parece facilitar o trabalho do professor durante a criação de OAs e também torna mais dinâmica a interação dos alunos com esses mesmos objetos, além de propiciar diferentes níveis de interação em diferentes graus de complexidade.

Por fim, o especialista discutiu sobre a navegação grossa e sobre as teorias de aprendizagem utilizadas como exemplo:

Uma das principais características do STI-OAM, e parte do que lhe confere um caráter inovador, é a possibilidade caracterizar o domínio grosso em diferentes teorias de aprendizagem por meio de diferentes quantizações entre/intra nodos. As simulações realizadas mostraram claramente a eficácia do modelo para duas teorias de aprendizagem testadas (Behaviorismo e Aprendizagem Significativa). Apenas uma ressalva pode ser feita com relação ao que se chamou de teoria da aprendizagem behaviorista (ou com embasamento behaviorista): o modelo proposto caracteriza apenas parcialmente um modelo de aprendizagem behaviorista (Skinner, 1953. Skinner, 1968) em sua descrição (com relação à linearidade da aprendizagem). No entanto, esse ponto não traz nenhum tipo de prejuízo à concepção do projeto por, pelo menos, dois motivos: (1) a complexidade do modelo behaviorista permite que se fale em modelos behavioristas; e (2) parece não ser necessário, e até mesmo não recomendável, nomear-se teorias de aprendizagem específicas para a caracterização do domínio grosso. Na verdade, um dos pontos mais fortes do sistema é a possibilidade de se modelar diferentes estratégias de aprendizagem, inclusive mesclando-se estratégias derivadas de diferentes abordagens.

O Especialista A utilizou em sua crítica algumas referências que serviram como aporte teórico à sua reflexão e que são, a saber:

- Skinner, B. F. (1953). *Science and human behavior*. New York: McMillan.
- Skinner, B. F. (1968). *The technology of teaching*. New York: Appleton-Century Crofts.
- Todorov, J. C., Moreira, M. B. & Martone, R. C. (2009). Sistema Personalizado de Ensino, Educação a Distância e Aprendizagem Centrada no Aluno. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, 25, 289-296.

5.3.3.2 Análise Crítica do Especialista B

Após encontro presencial com o Especialista B e dos textos com a descrição da modelagem e com os resultados computacionais, foi feita uma minuciosa crítica do trabalho iniciando pela utilização do STI-OAM no contexto educacional:

Analisando a proposta do pesquisador: podemos sim afirmar que o sistema idealizado constitui uma boa alternativa para a educação com a mediação das tecnologias, seja ela presencial, a distância, on-line, híbrida, na medida em que

pode possibilitar o exercício concreto de uma função mediadora na representação dos conceitos propostos para a aprendizagem levando em conta características do perfil do aprendiz e seus objetivos.

Essa afirmação está baseada na exploração pessoal do sistema e seu embasamento teórico, metodológico e de design, bem como nos desafios informados pelo pesquisador para o desenvolvimento do sistema, de modo que: pudesse oferecer possibilidades concretas de controle temático [da complexidade e do nível de detalhamento conceitual/ teórico] e sobre a escolha de estratégias pedagógicas [de ensino – aprendizagem], favorecendo adaptações, alterações de percurso, acréscimos, simulações relativas a objetos textuais, levando-se em consideração características específicas do aprendiz e dos objetivos que o levaram a frequentar um curso específico.

Também é preciso destacar a adoção de um foco essencial na avaliação do desempenho [perspectiva de processo, critérios, indicadores e resultados esperados e alcançados], que se manifesta especificamente no design e na configuração dos objetos de aprendizagem propostos neste estudo.

Sobre a idéia que o trabalho defende em que a modelagem deve contemplar diferentes abordagens pedagógicas, sendo que foram apresentados exemplos do desenvolvimento em duas teorias específicas, o especialista afirmou que:

Outra característica a destacar é a de que, embora a modelagem do sistema presente, de início, duas vertentes teóricas da aprendizagem, há espaço concreto no sistema concebido, para levar em conta n outras abordagens que venham a ser adotadas pelo professor [agente pedagógico], o que representa um avanço por favorecer aspectos práticos da docência e tem implicações claras nas respectivas tomadas de decisão em favor da aprendizagem para perfis específicos de aprendizes.

Tal proposta tem o mérito de poder favorecer a superação de limitações e fragmentações de modelos que apenas oferecem caminhos definitivos previamente delineados pelo autor/produtor, que não se pode alterar – ou se usa do jeito que está ou não se usa.

Afinal, é preciso preservar a função e a condição de que a tomada de decisão pelo uso pedagógico de objetos de aprendizagem e sua relevância no processo de formação é de quem idealiza esse mesmo processo. Essa responsabilidade e autonomia não se pode perder de vista nem minimizar por soluções limitadoras de percursos, variações e usos flexíveis, combinações dos mesmos com outras produções existentes na sociedade.

Sobre a possibilidade dos OAM's de fornecerem um nível diferenciado de adaptação, o especialista concluiu que:

Para responder a essa questão é necessário explicitar um pouco da perspectiva que adotamos para essa análise, já que procuramos levar em conta nossa experiência profissional docente, de autoria e de avaliação em diversos projetos educativos de que participamos.

Consideramos a experiência de autoria como variável determinante na educação mediada por tecnologias e, em especial por conteúdos educacionais [objetos de aprendizagem], pela intimidade que proporciona com as variáveis desse fazer e desses saberes.

Apesar do escopo da tese levar em consideração a modelagem de domínio para a atuação dos agentes pedagógicos, há claramente um espaço para discussão desses agentes já que defende-se uma maior interação desses com os objetos de aprendizagem. Desse modo, o especialista aproveitou em sua análise crítica para levantar essa situação:

Temos claro que há mudanças substantivas e significativas observáveis quando o agente pedagógico incorpora em sua atuação também a ótica de um produtor de textos educativos ou apenas a de um consumidor de produções alheias. E que toda decisão pedagógica está embasada em concepções pedagógicas, conscientes ou não pelo agente pedagógico, que impregnam seu trabalho, produções e resultados, captáveis por observadores internos [implicados] e externos [ad hoc].

É preciso levar em conta que, ao se abordar e selecionar conteúdos educativos materializados em objetos de aprendizagem produzidos por outrem, nem sempre se consegue fugir de um viés de externalidade dos mesmos, podendo, em muitos casos, esperar-se um uso mais pontual e/ou fragmentado deles no processo idealizado pelo docente. Isso se dá em relação a um agente pedagógico [o docente], em sua concretude e contingência histórico-social relacionada à área do conhecimento, às características de sua trajetória pessoal e profissional, ao ambiente institucional escolar peculiar em que atua [tempo, espaço, currículo, experiências educativas, ambientes e meios de aprendizagem], ao processo específico de ensino e aprendizagem por ele idealizado e proposto.

Isso posto, ressaltamos que a intensidade desse processo de inserção de objetos de aprendizagem assume nuances diferentes ocorre quando a escolha por determinados objetos textuais [em variadas mídias] está fortemente alicerçada na experiência concreta desse fazer, na clareza dos objetivos educacionais [intencionalidade da formação ofertada] e de suas implicações no percurso de aprendizagem, bem como no conhecimento do perfil do aprendiz, seus interesses, motivações, habilidades.

E o sistema proposto e desenvolvido pelo pesquisador favorece essas práticas, na configuração objetiva de possibilidades de adaptações textuais, como a de explicações que podem ser acrescidas, comparações, detalhamentos e aprofundamentos variados, flexibilidade de percurso e movimentos, simulações, controle da variação de fatores como experiência prévia [pontes cognitivas] velocidade, percepção visual, destreza visual motora, para destacar algumas a

guisa de exemplificação de possibilidades observadas na explicação e no manuseio dos objetos.

Especificamente sobre a proposta de redes quantizadas para modelagem do domínio grosso, o especialista afirmou ainda que:

Pudemos observar a previsão dessas possibilidades no modelo conceitual e metodológico de desenvolvimento proposto, bem como nos ensaios estatísticos para verificação e comprovação das constâncias e das variações esperadas.

Consideramos que o sistema proposto e desenvolvido pelo pesquisador favorece possibilidades concretas e práticas de adaptação, no cuidado tomado na configuração objetiva de possibilidades de adaptações textuais, como a de explicações que podem ser acrescidas, comparações, detalhamentos e aprofundamentos variados, flexibilidade de percurso e movimentos, simulações, controle e uso da variação de fatores como experiência prévia [pontes cognitivas] velocidade, percepção visual, destreza visual motora, heterogeneidade dos aprendizes, dos momentos curriculares de uso, rearranjos, reengenharia, atenção diferenciada da mais controlada à mais livre e flexível, de forma digital e em tempo real, para destacar algumas a guisa de exemplificação de possibilidades observadas na explicação e no manuseio dos objetos.

Em seguida, o especialista abordou as variáveis do sistema e se eles oferecem um nível de controle suficiente para que um agente pedagógico consiga influenciar na quantização da rede:

Até onde pudemos observar, na amostra manuseada, na explicação fornecida, nas demonstrações estatísticas, oferecem sim, particularmente pela concepção da estrutura de subtemas e suas variações em função da teoria de aprendizagem subjacente, favorecendo caminhos mais lineares ou mais de blocos semânticos e suas relações [por referência às bases de construção de mapas conceituais, até de mapas mentais], bem como na exploração controlada da ocultabilidade do objeto, que tem a ver com decisões tomadas em função de características de perfil do aprendiz e objetivos educacionais.

Pudemos observar essa presença conceitual estrutural no manuseio dos objetos de demonstração a que tivemos acesso, já que há muitos fatores presentes no sujeito que interferem no processo e no resultado alcançado por ele, bem como no tempo utilizado e no número de tentativas. Há variáveis perceptuais de campo e extracampo nitidamente presentes e interferindo na habilidade e no desempenho do sujeito que manipula os objetos, especialmente a percepção do todo, das partes e dos detalhes, bem como no entendimento dos objetivos pedagógicos propostos para o uso desses objetos.

É preciso evidenciar que o sujeito aprendiz não se relaciona com o objeto de maneira apenas automática e casual – há envolvimento claro de muitas facetas do

aprendiz, provocada pela linguagem visual e planejamento visual adotado, pela movimentação de detalhes na tela, interferindo por meio da percepção de perspectiva, de posição, de proporção, de caminhos possíveis nos espaços ocupados e vazios, em função do tempo e velocidade da transformação contextual dos elementos, na percepção de “labirintos” conceituais, trazidos pela ludicidade e expressos pelo design adotado, pelas soluções tecnológicas para viabilizá-los, bem como nos esforços corporais motores, sensoriais e cognitivos para a solução dos desafios propostos.

Manter o foco na natureza, na especificidade, na importância dos blocos coesos na concepção do sistema e de seu uso potencial na educação on-line e/ou presencial e/ou híbrida, para exercer controle e permitir aceleração em termos de domínio, quanto à precedência e uso ulterior de conceitos, teorias, procedimentos. Manter a abordagem tridimensional dos nodos.

O especialista finalizou suas considerações sobre o trabalho, fazendo uma reflexão sobre o STI-OAM e a modelagem proposta:

Teorizar a partir da experiência é sempre um desafio para esse tipo de trabalho, que atua a partir de um processo mais intuitivo, para um nível mais abstrato, de formalização simbólica, de manipulação de símbolos e signos, em busca de racionalidade teórica explicativa. Poderia sugerir mais ênfase na explicação dos vetores multidimensionais de quadros-chave e de ocultabilidade, inseridas nas possibilidades de adaptação em função de teorias de aprendizagem diferentes ou da possibilidade do valor agregado do uso combinado de diferentes teorias de aprendizagem dependendo da natureza da aprendizagem e das características específicas de habilidades e aprendizagem prévias e atuais do aprendiz, como ponto de partida do processo.

A teoria ausubeliana mostrou-se pertinente para tratar da construção do conhecimentos e seus níveis de dificuldade e de processo, da variabilidade e flexibilidade da aprendizagem, do domínio conceitual e procedimental, ético e de cidadania. Manter a condição de decisão no agente pedagógico quanto às variáveis e funções que o sistema pode lhe apresentar – a decisão é pedagógica e não apenas tecnológica. Manter o enfoque de antecipação e simulação nas funções de avaliação que permitem a abordagem fina na modelagem dos objetos. Manter a possibilidade de interferência em tempo real tendo em vista a complexidade do sistema, o nível de dificuldade e o repertório de experiências e conceitos aprendidos e por aprender, do aprendiz.

Validar os experimentos com turmas de aprendizes com perfís diferenciados para observar o comportamento do sistema desenvolvido frente às variações contextuais e de domínio, de objetivos e de habilidades, de percepção de elementos, subsunçores e nodos pelo aprendiz e pelo professor, de modo a amplificar o aporte obtido com a teoria dos mapas conceituais no estudo e construção de conhecimentos em várias áreas.

Manter na validação o objetivo básico de modelagem de domínio em base às possibilidades e variações da interação dos atores do processo de ensino e aprendizagem.

5.3.3.3 Análise Crítica do Especialista C

A análise do especialista C foi bastante peculiar por tratar-se de um pesquisador e docente da área da Engenharia com larga experiência em Inteligência Artificial e, em específico, Sistemas Especialistas. Ele iniciou sua análise da proposta verificando a viabilidade do STI-OAM:

O referido sistema apresenta-se, sim, não só como uma boa alternativa para as modalidades de ensino a distância e presencial, mas também como instrumento de capacitação e de integração das equipes de apoio e de desenvolvimento de soluções metodológicas de ensino-aprendizagem das organizações de ensino públicas e privadas. A modelagem conceitual do sistema, consistentemente confirmada por simulações do pesquisador, demonstra que tais equipes, de essência multidisciplinar, formadas por pedagogos, engenheiros de sistema, psicólogos, entre outros profissionais e pesquisadores, poderiam contar com um arcabouço robusto de soluções para um sem-número de aplicações na área em questão.

Sobre os OAM's, o especialista informou:

Fiquei muito bem impressionado com a estrutura do sistema proposto, tendo por referencial os sistemas especialistas que conheço na área da IA, que genericamente consistem de um mecanismo de inferência baseado numa técnica heurística de busca para frente ou para trás, aplicada sobre uma base de conhecimentos antecipadamente orlada pelos especialistas e projetistas do sistema. Nessa nova concepção, o projeto prevê um sistema que se aplica a um objeto que pode se adaptar a diferentes situações em que se envolvem professor (ou tutor) e aluno, num contexto (mundo real) mutante e complexo, mas que foi modelado de forma simples pelo pesquisador, ancorado em pelo menos duas das teorias de aprendizagem mais conhecidas e aplicadas da atualidade.

Quando indagado sobre a possibilidade de caracterizar o domínio grosso em diferentes teorias de aprendizagem, por meio da abordagem de redes quantizadas proposta nesta tese, o especialista c disse que:

Sim, perfeitamente possível, depois da demonstração que o pesquisador ofereceu em suas simulações computacionais, porque as diversas manipulações de variáveis de controle para atender aos requisitos das teorias em tela garantiram a

caracterização do domínio grosso. Por outro lado, a possibilidade de crescimento do sistema ao se fazer a inclusão de novas teorias de aprendizagem, por meio da distribuição dos nodos na rede e da utilização dos coeficientes de quantização, como pesquisador e tutor de ensino à distância nas áreas das ciências exatas, da Terra e sociais aplicadas, posso antever um berçário de fecundos problemas nessas áreas de ensino atendidos pelas soluções (ou alternativas de solução) que pequenas modificações nesses coeficientes proporcionariam. Pelos resultados apresentados, verificou-se que o percurso simulado para o estudante foi adequado de acordo com as variáveis de controle do sistema.

Sua análise foi finalizada com uma percepção mais aprofundada da proposta da tese:

Ao ler o artigo AUMENTANDO A INTELIGÊNCIA, de Roger Schanck e Lawrence Birnbaum, publicado no livro A NATUREZA DA INTELIGÊNCIA (KHALFA, Jean et alli, 1996), percebo que o projeto do pesquisador em pauta cai como uma luva na justificativa desses autores, cientistas da computação, quando rebatem as críticas de linguistas como Noam Chomsky e de filósofos como John Searle, que não admitem a possibilidade de se criar “entidades computacionais” inteligentes pela falta de um órgão da fala, no caso de Chomsky, e pela falta de consciência, segundo Searle. Essas críticas caem por terra, quando se vê que um sistema como o ora apresentado vem ao encontro do que os dois articulistas colocam como objeto de estudo: A IA É MODIFICÁVEL. AS ENTIDADES SE TORNAM MAIS INTELIGENTES SE SE PUDER ENCONTRAR MANEIRAS DE PREENCHÊ-LAS COM MAIS CONTEÚDO INTELIGENTE. É a chamada “inteligência aditiva”, que softwares desenvolvidos sob tal concepção e capazes de se adaptar aos agentes-usuários e ao mundo que os cerca, confirma que o comportamento inteligente é de natureza darwiniana, particularmente por um dos pontos relevantes da Teoria da Evolução, em que nenhuma entidade pode aprender sem gerar para si mesma a necessidade de conhecer. Não nos interessa, pesquisadores de IA, os complexos mecanismos do pensamento e ainda a indevassável essência da inteligência humana, mas nos interessa, e muito, tentar formalizar o comportamento racional dos seres inteligentes (não só humanos), como por exemplo, as formas de se ensinar e de se comunicar, que são exemplos significativos de comportamentos ou manifestações racionais de um ser que se possa classificar como inteligente.

5.3.4 Discussão Sobre a Avaliação dos Especialistas

A avaliação feita pelos especialistas foi muito importante para discussão da validade teórica do modelo, sua aplicabilidade e fragilidades. Os especialistas foram indagados quanto ao espaço de utilização do STI-OAM, sobre os OAM's se apresentarem como uma boa alternativa de adaptação, sobre a caracterização por meio das redes quantizadas, sobre as variáveis de controle oferecidas para o modelo pedagógico, além de oferecer um espaço para contribuições de ordem geral.

Sobre a arquitetura proposta para o STI-OAM em se utilizar OAM's e diversas estratégias de aprendizagem, os especialistas tiveram visões diferentes sobre sua aplicabilidade. O especialista A informou que *“é capaz de unir tecnologias de diferentes domínios de uma forma interativa e adaptativa”* e que é *“uma inovação extremamente útil tanto para o ensino presencial como para a distância”*, enquanto que o especialista B levantou que *“o sistema idealizado constitui uma boa alternativa para a educação com a mediação das tecnologias, seja ela presencial, a distância, on-line, híbrida”* e que *“há espaço concreto no sistema concebido, para levar em conta n outras abordagens que venham a ser adotadas”*. O especialista C acrescentou a possibilidade do uso em capacitações corporativas on-line, produto muito valioso para os engenheiros, e que poderia se desenvolver em diversos campos do conhecimento, sendo que pesquisadores de diferentes áreas *“poderiam contar com um arcabouço robusto de soluções para um sem-número de aplicações na área em questão”*.

Sobre a estrutura do STI-OAM, o especialista C defendeu que o sistema em questão apresenta uma estrutura *“que se aplica a um objeto que pode se adaptar a diferentes situações (...) mas que foi modelado de forma simples pelo pesquisador, ancorado em pelo menos duas das teorias de aprendizagem mais conhecidas e aplicadas da atualidade”*.

Outro elemento de discussão muito importante foi sobre a concepção e a arquitetura dos OAM's e sua utilização por parte de estudantes e professores. Nesse ponto, o especialista A informou que os OAM's *“fornecem um nível diferenciado de adaptação não só ao conteúdo (...) mas também à forma de apresentação e re-apresentação de um mesmo conteúdo”* e seu uso *“parece facilitar o trabalho do professor durante a criação de OAs”* fornecendo *“diferentes níveis de interação em diferentes graus de complexidade”*. Sobre esse ponto, o especialista B evidenciou outro aspecto dos OAM's que, *“pela concepção da estrutura de subtemas e suas variações em função da teoria de aprendizagem subjacente”*, proporcionam *“caminhos mais lineares ou mais de blocos semânticos e suas relações”* e que favorecem *“aspectos práticos da docência e tem implicações claras nas respectivas tomadas de decisão em favor da aprendizagem”*.

Sobre a utilização de redes quantizadas para modelagem grossa do domínio, o especialista A considerou que os resultados *“mostraram claramente a eficácia do modelo para duas*

teorias de aprendizagem testadas (Behaviorismo e Aprendizagem Significativa)”. O especialista B também considerou que as redes quantizadas podem ser utilizadas para caracterizar a modelagem grossa sem prejuízo, disse que essa análise foi feita com base “*no modelo conceitual e metodológico de desenvolvimento proposto, bem como nos ensaios estatísticos para verificação e comprovação das constâncias e das variações esperadas.*”

O especialista A fez a ressalva de que “*o modelo proposto caracteriza apenas parcialmente um modelo de aprendizagem behaviorista*”, já que trabalha apenas em alguns aspectos dessa teoria, mas, que isso “*não traz nenhum tipo de prejuízo à concepção do projeto*”.

Ainda sobre a utilização de várias teorias de aprendizagem, o especialista A considera que “*parece não ser necessário, e até mesmo não recomendável, nomear-se teorias de aprendizagem específicas para a caracterização do domínio grosso*”, principalmente porque “*um dos pontos mais fortes do sistema é a possibilidade de se modelar diferentes estratégias de aprendizagem, inclusive mesclando-se estratégias derivadas de diferentes abordagens*”.

Sobre a potencialidade de adaptação do STI-OAM, o especialista B analisa que a “*flexibilidade de percurso e movimentos, simulações, controle da variação de fatores como experiência prévia [pontes cognitivas] velocidade, percepção visual, destreza visual motora*” favorecem a prática docente no percurso da aprendizagem.

Como propostas de trabalhos futuros em continuação desta tese, o especialista B sugere que a “*exploração controlada da ocultabilidade do objeto*” é um ponto muito importante, mas, que é fundamental o uso de um sistema tutorial para os professores dando “*ênfase na explicação dos vetores multidimensionais de quadros-chave e de ocultabilidade*”, e das “*possibilidades de adaptação em função de teorias de aprendizagem diferentes*” ou “*do uso combinado de diferentes teorias de aprendizagem*”. O mesmo especialista indica que em novas pesquisas deve-se “*manter a possibilidade de interferência em tempo real tendo em vista a complexidade do sistema, o nível de dificuldade e o repertório de experiências e conceitos aprendidos e por aprender, do aprendiz*”, contudo, devendo “*validar os experimentos com turmas de aprendizes com perfís diferenciados para observar o*

comportamento do sistema desenvolvido frente às variações contextuais e de domínio, de objetivos e de habilidades, de percepção de elementos, subsunçores e nodos pelo aprendiz e pelo professor”.

O especialista C, pesquisador de Inteligência Artificial aplicada, considerou a modelagem de domínio proposta uma boa iniciativa e discute *“a possibilidade de crescimento do sistema ao se fazer a inclusão de novas teorias de aprendizagem, por meio da distribuição dos nodos na rede e da utilização dos coeficientes de quantização, como pesquisador e tutor de ensino à distância nas áreas das ciências exatas, da Terra e sociais aplicadas, posso antever um berçário de fecundos problemas nessas áreas de ensino atendidos pelas soluções (ou alternativas de solução) que pequenas modificações nesses coeficientes proporcionariam”.* Portanto, os conceitos trabalhados para o STI-OAM e, em especial, as redes quantizadas proporcionam, segundo julgamento dos especialistas e perceptível pelo entendimento da composição dos coeficientes de quantização, uma modelagem aberta para novas contribuições.

6 CONCLUSÃO

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões desta tese organizadas em três linhas: contribuições, limitações e trabalhos futuros. Desse modo, inicialmente é feita uma análise sobre as contribuições do trabalho em direção aos objetivos propostos, sendo seguida pelo levantamento das limitações para aplicação do STI-OAM e da modelagem do domínio. Por fim, são discutidas as possibilidades de melhoria em trabalhos futuros.

6.1 CONTRIBUIÇÕES

A revisão bibliográfica mostrou que os estudos em Sistemas de Tutoria Inteligentes (STI), em Sistemas de Hipermídia Adaptativa (SHA) e em Objetos de Aprendizagem (OA) estão bastante avançados, mas, somente nos últimos anos foi identificada uma aproximação maior entre essas áreas.

As pesquisas também indicaram não existirem sistemas educacionais que interajam em maior profundidade com Objetos de Aprendizagem (OA) e, em especial, com objetos de simulação. Desse modo, mesmo que um sistema tutor tenha um nível de inteligência muito alto aplicado a seus agentes pedagógicos, seu potencial de adaptação fica bastante reduzido, pois seleciona objetos dentro de um espaço limitado de possibilidades.

Além disso, em termos práticos, a necessidade de se construir vários OA's para se ter um STI com alto poder de adaptação parece ser desestimulante para os autores de conteúdo. Se, no entanto, forem desenvolvidos Objetos de Aprendizagem Multiformes (OAM), o aumento das opções de apresentação de um conteúdo baseado em poucos arquivos indica uma boa aceitabilidade por parte dos autores de conteúdo.

Com base nesse cenário de possibilidades, o Sistema de Tutoria Inteligente aplicado a Objetos de Aprendizagem Multiformes (STI-OAM) foi idealizado para ser um sistema

educacional inteligente de caráter multipedagógico com base em OAM's e é possível concluir, fundamentando em suas características e na análise conceitual feita por três especialistas, que pode representar uma alternativa útil para a educação a distância, presencial e híbrida. Em especial, o especialista B corrobora com essa afirmativa e diz também que *“há espaço concreto no sistema concebido, para levar em conta n outras abordagens que venham a ser adotadas”*, o que indica um bom espaço para crescimento e sugere que o sistema e a modelagem foram concebidas com uma boa arquitetura.

Após a concepção da arquitetura do STI-OAM, todos os esforços deste trabalho foram na direção de identificar o nível de qualificação necessária para a rede de domínio e investigar possíveis soluções. Nesse processo reflexivo, os OAM's surgiram como uma boa alternativa dentro da estrutura do sistema e um estudo mais aprofundado mostrou a viabilidade desses objetos.

A viabilidade técnica dos OAM's pôde ser comprovada com a construção de um OAM e um simulador da ação do STI-OAM. Pelo manuseio dos objetos educacionais, ficou clara a possibilidade de leitura das variáveis internas do OAM bem como do processo interventivo em qualquer momento da ação do estudante sobre o sistema.

Os OAM's e as arquiteturas foram apresentados aos especialistas que se mostraram em sintonia com o potencial de adequação que esses elementos possuem e que é defendido nesta tese. Nesse sentido, vale citar o especialista A quando conclui que esses objetos *“fornecem um nível diferenciado de adaptação não só ao conteúdo (...) mas também à forma de apresentação e re-apresentação de um mesmo conteúdo”* e seu uso *“parece facilitar o trabalho do professor durante a criação de OAs”* fornecendo *“diferentes níveis de interação em diferentes graus de complexidade”*. Sobre esse ponto, o especialista B evidenciou que *“pela concepção da estrutura de subtemas e suas variações em função da teoria de aprendizagem subjacente”* proporcionam *“caminhos mais lineares ou mais de blocos semânticos e suas relações”* e que favorecem *“aspectos práticos da docência e tem implicações claras nas respectivas tomadas de decisão em favor da aprendizagem”*.

Além dos OAM's, um dos pontos que teve maior concentração de esforços foi concernente à abordagem apresentada de redes quantizadas, uma teoria originalmente simples e elegante que cativou a pesquisa de modelagem grossa ao seu encontro. Os resultados

obtidos por meio de três simuladores mostraram que é possível utilizar a quantização de redes para caracterizar o domínio de modo a indicar percursos distintos adaptando-se a perfis e objetivos de estudantes com base em teorias pedagógicas distintas.

As simulações computacionais forneceram provas da estabilidade do modelo e que as variáveis de controle a serem utilizadas pelos agentes pedagógicos do STI-OAM fornecem condições suficientes para que a rede construída possa indicar percursos diferentes de acordo com o perfil e os objetivos do estudante.

Para as simulações com a rede behaviorista com baixa influência de blocos coesos, houve um padrão dos gráficos tanto em retas com inclinação positiva ou negativa, onde o módulo da inclinação permaneceu inalterado. Isso porque o simulador de situações construído não alterava os valores da confiabilidade direta das avaliações no decorrer da experimentação computacional, mas, o caso de baixa confiabilidade também foi possibilitado por outro simulador construído e o resultado foi uma busca pelo nodo prévio com provável falha no processo avaliativo. Nesse caso singular, após uma reavaliação do nodo, mostrou o retorno imediato ao nodo e a retomada do percurso de aprendizagem do estudante (figura 6.1).

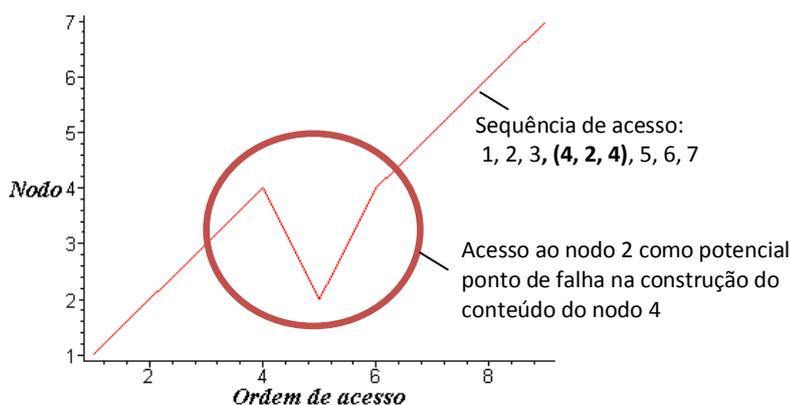


Figura 6.1 Acesso a nodo com possível falha no processo avaliativo.

Para a rede ausubeliana quantizada, foi possível perceber uma busca pelos nodos correlacionados da rede, principalmente nos momentos de avaliações não satisfatórias. Para baixos valores de importância de blocos coesos, os percursos em direção ao fluxo normal da rede apresentaram sempre uma mesma inclinação positiva quando o acesso é feito aos nodos pela primeira vez, contudo, as inclinações negativas são bastante diferentes em valor absoluto, pois buscam os conceitos prévios com avaliação insatisfatória. Na fase

de recuperação também não há a mesma inclinação, o que indica que o modelo oferece uma volta mais rápida para o nodo que foi mal avaliado (figura 6.2).

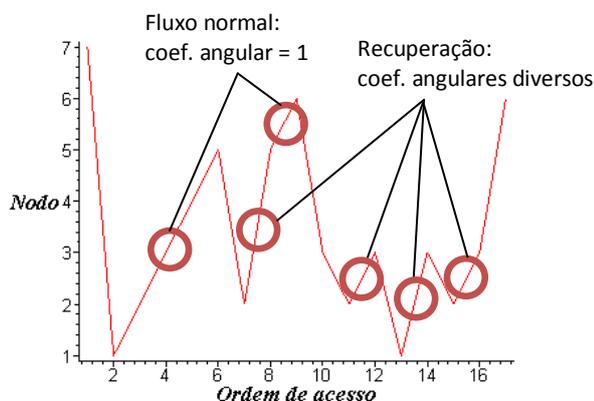


Figura 6.2 Padrão no acesso em nodos do fluxo normal e inclinações diferentes em processos de recuperação.

Ao se adicionar uma tendência de acesso aos blocos coesos, percebeu-se que o fluxo normal foi alterado por uma busca pelos nodos pertencentes aos blocos coesos de maior hierarquia.

Sendo assim, é possível concluir que a abordagem de redes quantizadas proposta se apresenta como uma boa alternativa para realização da modelagem grossa do domínio do STI-OAM, moldando-se de acordo com novas situações apresentadas e com as variáveis de controle dos agentes pedagógicos.

Outro produto resultante da ação dos simuladores da rede ausubeliana é que, mesmo não havendo nenhum tipo de análise condicional ou registro em variáveis indexadas sobre o percurso feito pelo estudante, a modelagem grossa indicou a volta aos últimos nodos em que houve uma avaliação não satisfatória. Além disso, é possível que haja processos de recuperação internos a outros processos também para recuperação de um nodo e, mesmo não sendo feito nenhum uso de registro do percurso feito pelo estudante, a rede quantizada indicou que haveria uma tendência de acesso aos nodos (figura 6.3).

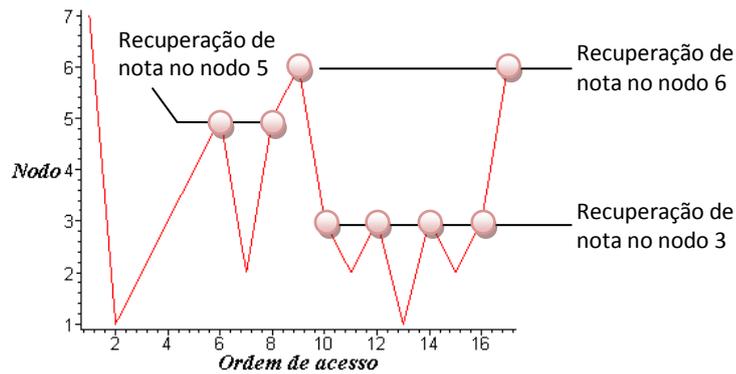


Figura 6.3 Recuperação de notas em nodos da rede.

Um dado de alerta obtido para a rede behaviorista foi que a extrapolação do valor de influência dos blocos coesos limitou o acesso aos demais nodos, em especial, ao nodo 7 que faz parte de um bloco coeso com importância mediana e unitário. Isso indica a importância da supervisão dos valores atribuídos às variáveis de controle dos coeficientes de quantização.

Os especialistas consideraram que a abordagem apresentada pode ser utilizada na adaptação da navegação frente às diferentes teorias de aprendizagem. O especialista A considerou que os resultados “mostraram claramente a eficácia do modelo para duas teorias de aprendizagem testadas (*Behaviorismo e Aprendizagem Significativa*)” e o especialista B afirmou que as redes quantizadas podem ser utilizadas para caracterizar a modelagem grossa onde foi possível “observar a previsão dessas possibilidades no modelo conceitual e metodológico de desenvolvimento proposto, bem como nos ensaios estatísticos para verificação e comprovação das constâncias e das variações esperadas”. O especialista C acrescentou a possibilidade do uso em capacitações corporativas on-line, produto muito valioso para os engenheiros, e que poderia se desenvolver em diversos campos do conhecimento, sendo que pesquisadores de diferentes áreas “poderiam contar com um arcabouço robusto de soluções para um sem-número de aplicações na área em questão”.

Sobre a utilização de várias teorias de aprendizagem, o especialista A diz que “parece não ser necessário, e até mesmo não recomendável, nomear-se teorias de aprendizagem específicas para a caracterização do domínio grosso”, principalmente porque “um dos pontos mais fortes do sistema é a possibilidade de se modelar diferentes estratégias de aprendizagem, inclusive mesclando-se estratégias derivadas de diferentes abordagens”.

Nesse contexto, é importante destacar que os agentes pedagógicos não precisam necessariamente seguir uma ou outra linha de pesquisa de modo isolado e que, apesar de terem sido utilizados como exemplo duas teorias de aprendizagem de certa forma antagônicas, o mais importante é que a modelagem do domínio de conhecimento proposta pode atender a diferentes estratégias educacionais.

Por fim, conclui-se que o STI-OAM, conforme concebido nesta tese, possui um espaço na educação a distância e como suporte à educação presencial, apresenta potencial de adaptação e é um sistema viável. Nesse caminho, é possível parafrasear o especialista B quando diz que a *“flexibilidade de percurso e movimentos, simulações, controle da variação de fatores como experiência prévia [pontes cognitivas] velocidade, percepção visual, destreza visual motora”* são ações que favorecem a prática docente no percurso da aprendizagem.

6.2 LIMITAÇÕES

Embora os resultados apresentados seguirem em direção aos objetivos propostos e indicarem que o uso das redes quantizadas é uma opção viável para a modelagem grossa do domínio, os testes foram realizados em um apenas dois modelos de exemplo. Desse modo, é necessário verificar a aplicação e, porventura, identificar possíveis adequações dessa metodologia em modelos mais complexos ou com outras configurações.

Os OAM's foram concebidos em termos da ocultabilidade, nível de complexidade e estratégia pedagógica, mas, para sua utilização concreta em contextos educacionais devem ser considerados os demais métodos e técnicas de apresentação adaptativa e, como o especialista B bem alertou, *“há variáveis perceptuais de campo e extracampo nitidamente presentes e interferindo na habilidade e no desempenho do sujeito que manipula os objetos, especialmente a percepção do todo, das partes e dos detalhes, bem como no entendimento dos objetivos pedagógicos propostos para o uso desses objetos”*. A necessidade levantada sobre a diversidade das variáveis representativas do perfil do estudante sugere que a arquitetura dos OAM's devesse contemplar uma classificação de tais variáveis.

6.3 TRABALHOS FUTUROS

Os desdobramentos deste trabalho podem ser discutidos em termos da aplicabilidade da modelagem de domínio, dos OAM's, do desenvolvimento dos demais componentes do STI-OAM, de seus melhoramentos e de outras aplicações para as metodologias apresentadas.

A aplicação da modelagem grossa por meio das redes quantizadas pode ser utilizada em sistemas inteligentes similares à arquitetura idealizada para o STI-OAM, contudo, é necessário um estudo quanto ao uso das variáveis de controle pelos agentes pedagógicos. Também concernente à aplicação do modelo de domínio, é necessário o desenvolvimento de um sistema tutorial conforme previsto na arquitetura idealizada para o STI-OAM. Esse sistema seria utilizado para facilitar a autoria da modelagem média e grossa do domínio de conhecimento e orientaria o usuário quanto à estrutura dos nodos e respectivos metadados, blocos coesos e estrutura de hierarquia de blocos.

Para atingir um nível de adaptação em cursos on-line com uso ou não de tutoria humana e com ferramentas colaborativas é necessário estudar a inserção de nodos que sejam representações desses atores. Mesmo nesses casos, parece possível haver uma aplicação das redes quantizadas.

O especialista B afirma que em novas pesquisas deve-se *“manter a possibilidade de interferência em tempo real tendo em vista a complexidade do sistema, o nível de dificuldade e o repertório de experiências e conceitos aprendidos e por aprender, do aprendiz”*, contudo, devendo *“validar os experimentos com turmas de aprendizes com perfís diferenciados para observar o comportamento do sistema desenvolvido frente às variações contextuais e de domínio, de objetivos e de habilidades, de percepção de elementos, subsunçores e nodos pelo aprendiz e pelo professor”*.

Uma das mais importantes sugestões de continuação do trabalho é também acerca da modelagem por meio de redes quantizadas. Pelos resultados obtidos, verificou-se a viabilidade de se utilizar a abordagem apresentada nesta tese para a quantização de redes e, do mesmo modo que concluiu o especialista C, pesquisador de Inteligência Artificial aplicada, existe uma evidente *“possibilidade de crescimento do sistema ao se fazer a*

inclusão de novas teorias de aprendizagem, por meio da distribuição dos nodos na rede e da utilização dos coeficientes de quantização, como pesquisador e tutor de ensino à distância nas áreas das ciências exatas, da Terra e sociais aplicadas, posso antever um berçário de fecundos problemas nessas áreas de ensino atendidos pelas soluções (ou alternativas de solução) que pequenas modificações nesses coeficientes proporcionariam". Portanto, os conceitos trabalhados para o STI-OAM e, em especial, as redes quantizadas proporcionam, segundo julgamento dos especialistas e perceptível pelo entendimento da composição dos coeficientes de quantização, uma modelagem aberta para novas contribuições.

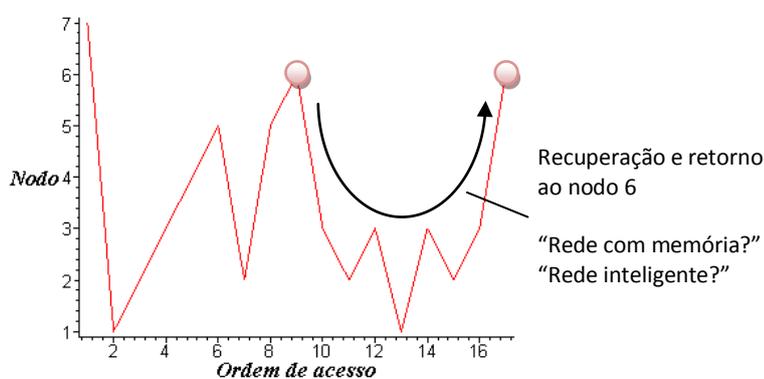


Figura 6.4 Recuperação de nota do nodo 6 da rede e a possibilidade da rede ter desenvolvido uma espécie de memória.

Por fim, um dos resultados da utilização do modelo de domínio grosso foi o de haver uma espécie de memória do ponto de recuperação, mesmo não tendo sido feito registro algum sobre a ordem de acesso dos nodos (figura 6.4). Sendo assim, as considerações finais sobre esta tese se despedem com um desafio advindo desse resultado observável e que suscita a análise de outros pesquisadores: (1) Mesmo não havendo registro do percurso do estudante, a rede desenvolveu algum tipo de memória? (2) É possível utilizar o modelo de quantização com outros objetivos como, por exemplo, armazenar dados com menor custo computacional?

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, J.R.M. Educação à Distância e as Novas Tecnologias de Informação e Aprendizagem. *Novas tecnologias na educação*, 1995.
- Amasifen, J.C.C.; Romero, R.; Mantovani, J.R.S. *Algoritmos evolutivos dedicados à reconfiguração de redes radiais de distribuição sob demandas fixas e variáveis: estudo dos operadores genéticos e parâmetros de controle*. Sba Controle & Automação, Campinas, v. 16, n. 3, Sept. 2005. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-17592005000300004&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 18 de abril de 2010. doi: 10.1590/S0103-17592005000300004.
- Anderson, J.R. *Aprendizagem e Memória – Uma abordagem integrada*. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- Assis, P. S., Schwabe, D. e Barbosa, S.D.J. Meta-models for Adaptive Hypermedia Applications and Meta-adaptation. In: *ED-MEDIA 2004 – World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications, 2004, Lugano. Proc. of ED-MEDIA 2004 - World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications*. Norfolk, VA, EUA: AACE, 2004.
- Ausubel, D.P. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Porto – Portugal: Editora Plátano, 2003.
- Berlinski, D. *O dom de Newton: Como Sir Isaac Newton desvendou o sistema do mundo*. São Paulo: Globo, 2002.
- Bocca, E.W. Modelagem e implementação da interface para apresentação de comportamentos animados e emotivos de um agente pedagógico animado. *Novas Tecnologias na Educação*, v.1, n.2, 2003.
- Bollen, J. & Heylighen, F. Algorithms for the self organization of distributed, multi-user networks. possible application to the future world wide web. In: *Cybernetics and Systems '96*, R. Trappl, (Ed.). Vol. 911-916. Austrian Society for Cybernetics.

1996. Disponível em <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.21.7304&rep=rep1&type=pdf>> Acesso em 20 de abril de 2010.
- Brinckmann, R. “*Avaliação Formativa Da Aprendizagem Através Da Matemática Nebulosa – Uma Proposta Metodológica*”. Tese de doutorado Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
- Brusilovsky, P.; Pesin, L., *ISIS-Tutor: An adaptive hypertext learning environment*. JCKBSE'94, Japanese-CIS Symposium on knowledge-based software engineering, Pereslavl-Zalesski, Russia, pp.83-87, 1994.
- Brusilovsky, P. “Methods and Techniques of adaptive hypermedia”. *User Modeling and User Adapted Interaction*, v. 6, n. 2-3, p. 87-129, 1996.
- Brusilovsky, P. Efficient techniques for Adaptive Hypermedia. In: *Nicholas, C.; Mayfield, J. (Eds.). Intelligent Hypertext: Advanced techniques for the World Wide Web*. Belin: Springer-Verlag, 1997.
- Brusilovsky, P.; Eklund, J. A Study of User Model Based Link Annotation in Educational Hypermedia. *Journal of Universal Computer Science*. 4 (4) p. 429-448. Springer Science Online, 1998.
- Brusilovsky, P.: Adaptive Hypermedia. *User Modeling and User Adapted Interaction*. v.11 n.1 pp.87-110. Kluwer. 2001.
- Brusilovsky, P. “Adaptive navigation support in educational hypermedia: The role of student knowledge level and the case for meta-adaptation”. *British Journal of Educational Technology*, 34 (4), 487-497, 2003.
- Brusilovsky, P.; Peylo, C. Adaptive and intelligent Web-based educational systems. In *P. Brusilovsky e C. Peylo (eds.), International Journal of Artificial Intelligence in Education*, v.13, n.2-4, p.159-172, 2003.
- Brusilovsky, P. Adaptive navigation support. In: *P. Brusilovsky, A. Kobsa e W. Neidl (eds.): The Adaptive Web: Methods and Strategies of Web Personalization. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4321, Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, pp. 263-290, 2007.
- Catania, A.C. *Aprendizagem: comportamento, linguagem e cognição*. 4 ed – Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1999.
- Chamada Pública MCT/FINEP/FNDCT – PROMOVE* – Engenharia no Ensino Médio 05/2006. Disponível em:

<http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/outras_chamadas/editais/Chamada_Publica_MCT_FINEP_FNDCT_PROMOVE_Eng_Ensino%20Medio_05_2006.pdf>.

Acesso em 10 de dezembro de 2006.

- Cocco, A.P. *Modelo de Adaptação de Ensino Utilizando Agentes Pedagógicos*. 2004. 113 p. Tese (Doutorado em Ciências da Computação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Costa, R.M.E.M.; Santos, N.; Rocha, A. “*Diretrizes Pedagógicas para Modelagem de Usuário em Sistemas Tutoriais Inteligentes*”, Taller Internacional de Software Educativo-TISE’97, Santiago, Chile. 1997.
- Costa, M.T.C. *Uma Arquitetura Baseada em Agentes para Suporte ao Ensino Distância*. Florianópolis, 1999. 97 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.
- Cowell, R.G. *et al. Probabilistic Networks and Expert Systems*. New York; Springer, p.5-23, 1999.
- Cunha, M.I. da. *O Professor Universitário na Transição de Paradigmas*. 1a. ed. Araraquara: JM, 1998.
- Fragelli, R.R. *Esforços Internos em Vigas*. Objeto digital de aprendizagem. 2004.
- Fragelli, R.R. *Diagramas de Força Cisalhante e Momento Fletor*. Objeto digital de aprendizagem. 2004.
- Fragelli, R.R. *Aequilibrium – Enigmas Sobre o Equilíbrio de Corpos*. Objeto digital de aprendizagem. 2005.
- Fragelli, R.R. *Processo de Mediação em Fórum/Chat e Sistema de Tutoria Inteligente*. I Seminário de Tutores da Infraero. Brasília – DF, 2009.
- Fragelli, R.R. *Tutoria de Acompanhamento e Sistemas de Tutoria Inteligentes*. A Formação On-line na Administração Pública – Experiências Brasil e Espanha. Brasília – DF, 2009.
- Friego, L. B., Pozzebon, E. e Bittencourt, G. O papel dos Agentes inteligentes nos Sistemas Tutores Inteligentes. In: WORLD CONGRESS ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION, 2004, São Paulo. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Technology Education*.
- Friego, L.B., Cardoso, J. e Bittencourt, G. Adaptive Interaction in Intelligent Tutoring Systems. In: Workshop on Combining Intelligent and Adaptive Hypermedia

- Methods/Techniques in Web-based Education Systems, 2005, Salzburg. HT 2005 - *Sixteenth ACM Conference on Hypertext and Hypermedia*.
- Frigo, L. B.; Pozzebon, E.; Bittencourt, G. O papel dos Agentes inteligentes nos Sistemas Tutores Inteligentes. In: *WORLD CONGRESS ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION, 2004*. São Paulo. Proceedings of the World Congress on Engineering and Technology Education, 2004.
- Garcindo, A.S.C. *Uma abordagem sobre o uso da hipermídia adaptativa em ambientes virtuais de aprendizagem*. Florianópolis, 2002. 195p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Gasparini, I.; Rosa, C.; Kemczinski, A.; Pimenta, M.S.; Oliveira, J.P.M.. *Ampliando as possibilidades de Avaliação Formativa: acompanhando a participação dos alunos no AdaptWeb*. In: Simpósio Brasileiro de Informática na Educação 2009 / II Workshop sobre Avaliação e Acompanhamento da Aprendizagem em Ambientes Virtuais, 2009, Florianópolis. Anais. Porto Alegre : SBC, 2009. v. 1.
- Gershenson C. (2007) *Design and Control of Self-organizing Systems*. PhD Dissertation, Vrije Universiteit Brussel, <<http://homepages.vub.ac.be/~cgershen/thesis.html>> acesso em 20 de abril de 2010.
- Geyer, C.F.R.; Rodrigues, A.; José, E.; Pereira, A.S. ; Ferrari, D.N.; Oliveira, A. SEMEAI - SistEma Multiagente de Ensino e Aprendizagem na Internet. In: *XII SBIE 2001 - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 2001*, Vitória, ES. XII SBIE 2001 - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 2001.
- Gil, A. C.. Como classificar as pesquisas? In: _____ *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Loyola, 2002. cap. 4.
- Giraffa, L.M.M. *Uma arquitetura de tutor utilizando estados mentais*. Porto Alegre, 1999. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Programa de Doutorado em Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do sul, 1999.
- Giraffa, L.M.M.; Marczak, S.S.; Almeida, G.M. Supporting Teaching/learning activities using an environment based on virtual tools. In: *International Conference on Artificial Intelligence in Education AIED 2003*, 2003, Sydney. XI International Conference on Artificial Intelligence in Education AIED 2003. Sydney : School of Information Technologies, 2003. v. 7. p. 408-416.

- Gonçalves, S. *Teorias de aprendizagem e Práticas de Ensino em Busca de Um Equilíbrio*. Coletânea de Textos – Teorias de aprendizagem, práticas de Ensino: Contributos para a formação de professores. Disponível em <http://www.esec.pt/ceps/Susana/Publica%C3%A7%C3%B5es_files/susana_PDF/Psicologia%20da%20Aprendizagem.pdf> Acesso em 04 de março de 2007.
- Heylighen, F. *Building a Science of Complexity*. Disponível em <<http://pespmc1.vub.ac.be/papers/BuildingComplexity.html>> Acesso em 20 de abril de 2010.
- Hill, W.F. *Learning: a survey of psychological interpretations*. 5a ed. New York, Harper Collins Publishers Inc, 1990.
- Jones, M.C. *A Laboratory Study of Fear: The Case of Peter*. Pedagogical Seminary, 31, 308-315, 1924. Disponível em <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/ps000122.pdf>> Acesso em 05 de abril de 2007.
- Kagan, N; Barioni de O, C. C. *Reconfiguração de redes de distribuição de energia elétrica através de ferramenta para solução de problemas de decisão com múltiplos objetivos e incertezas*. Revista Controle e Automação, Sociedade Brasileira de Automática, SBA. Vol. 9 No. 1, 1998.
- Lèvy. P. *As tecnologias da Inteligência – o futuro do pensamento na era da informática*. Rio de Janeiro: 34, 1993.
- Machado, A. *Neuroanatomia Funcional*. São Paulo: Atheneu. 2a ed. 1993.
- Matlin, M.W. *Psicologia Cognitiva*. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- Montangero, J. e Naville, D.M. *Piaget ou a Inteligência em Evolução*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- Moreira, M.A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.
- Moreira, M.A. *A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua implementação em Sala de Aula*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006.
- Novak, J.D; Cañas, A.J. *The Theory Underlying Concept Maps and How To Construct and Use Them*. Institute for Human and Machine Cognition Institute for Human and Machine Cognition; 2006. Disponível em: <<http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryCmaps/TheoryUnderlyingConceptMaps.htm>> Acesso em 10 de junho de 2010.
- Nwana, H.S. *Intelligent Tutoring Systems: an Overview*. Artificial Intelligence Review. 3. 251-277, 1990.

- Palazzo, L. A. M. *Modelos Proativos para Hipermídia Adaptativa*. Tese (Doutorado) – PGCC da UFRGS, Porto Alegre, 2000.
- Palazzo, L. A. M. "Sistemas de Hipermídia Adaptativa". JAI 2002 - XXI Jornada de Atualização em Informática, Florianópolis. Anais do SBC, 2002.
- Peponis, G.; Papadopoulos, M. *Reconfiguration of radial distribution networks: application of heuristic methods on large-scale networks*. IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution. vol. 142 n. 6 , pp. 631-638, 1995.
- Perecmanis, J. O efeito da adaptação à universidade nas aprovações no 1º. semestre. In: *ENCONTRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA*, 8. 2002, Juiz de Fora. Trabalhos apresentados. Juiz de Fora, MG: UFJF, 2002. 1 CD-ROM, 2002.
- Pereira, A.S.; Bica, F.; Edelweiss, N.; Viccari, R.M.; Oliveira, J.M.P, *Projeto Tapejara Um Ambiente de Ensino a Distância na Web*. Revista de Enseñanza y Tecnología, v. 20, p. 5-12, 2000.
- Rissoli, V.R.V. e Giraffa, L.M.M. Aprendizagem Significativa Apoiada por um Sistema Tutor Inteligente usando Lógica Fuzzy. In: *II Workshop de Arquiteturas Pedagógicas para Suporte a Educação a Distância mediada pela Internet*, 2006, Brasília. SBIE 2006 - WAPSEDI. Porto Alegre : FACED/UFRGS, 2006. v. 1.
- RIVED - Rede Interativa Virtual de Educação*. Disponível em: <<http://rived.proinfo.mec.gov.br>> Acesso em 12 de dezembro de 2006.
- Robins, R.W., Gosling, S.D. e Craik, K.H. (1999). *An Empirical analysis of trends in psychology*. American Psychologist, 54, 117-128. Disponível em <<http://homepage.psy.utexas.edu/homepage/faculty/Gosling/reprints/AmPsych99Trends.pdf>> Acesso em 25 de fevereiro de 2006.
- Rodrigues, G. L.; Tavares, R. Modelagem computacional: Uma aproximação entre artefatos cognitivos e experimentos virtuais em Física. *Principia*, João Pessoa, v. 9, n. 12, p. 32-42, 2005.
- Russel, S.J. e Norving, P. *Inteligência Artificial*, 2a. ed. São Paulo: Campus, 2004.
- Savory, S.E. (ed.) Some Views on the State of Art in Artificial Inteligence, In: *Artificial Intelligence and Expert Systems*, Ellis Horwood Limited, p. 21-34, Inglaterra, 1988.
- Silva, M. Educação na Cibercultura: o desafio comunicacional do professor presencial e online. *Revista da FAEEBA*, Salvador, v. 12, n. 20, p. 261 - 271 jul / dez 2003.
- Silva, J.M. *Um berço para o Homem e o legado skinneriano na educação: do behaviorismo a um novo paradigma para a sociedade do conhecimento*. 2005. Disponível em

- <<http://www.bocc.ubi.pt/pag/silva-jose-manuel-novo-paradigma-sociedade-conhecimento.pdf>> Acesso em 04 de março de 2007.
- Silva, R.R.C.M. *Avaliação e indicadores para reforma curricular: relatório nº 1*. Niterói, RJ: TEQ, UFF, 2002.
- Silveira, R.A. *Modelagem orientada a agentes aplicada a ambientes inteligentes distribuídos de ensino : JADE : Java Agent framework for Distance learning Environments*. Porto Alegre, 2001. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Programa de Doutorado em Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do sul. 2001.
- Skinner, B.F. (1982) *Sobre o Behaviorismo*. Trad. M.P. Villalobos. 10a. ed. São Paulo: Cutrix, 2006.
- Soldato, T.; Boulay, B. Implementation of Motivational Tactics in Tutoring Systems. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, Charlottesville, v.6, p.337-378, 1995.
- Souza, P.C. *Diretrizes para a Construção de Mediadores Sócio-Construtivistas em Sistemas de Aprendizagem Colaborativa Apoiada por Computador*. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis (SC). 2003.
- Tavares, R. Aprendizagem significativa. *Conceitos*, João Pessoa, v. 10, p. 55-60, 2004.
- Tavares, R.; Santos, J.N. dos Animação Interativa como Organizador Prévio. In: *SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA*, 15., 2003, Curitiba. *Anais do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física*, 2003.
- Tavares, R. Concept map and interactive animation. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCEPT MAPPING*, 1. 2004, Pamplona. *Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping*, 2004.
- Tavares, R. Animações interativas e mapas conceituais. In: *SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA*, 16, 2005, Rio de Janeiro.
- Torres, A. E. B. *Causas e conseqüências da evasão nos cursos de engenharia Química*. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE O ENSINO DA ENGENHARIA QUÍMICA, 9. 2001, Poços de Caldas. Trabalhos apresentados. Poços de Caldas, MG, 2001. ENBEQ 2001.
- Universia Brasil - Como ganhar um prêmio por técnicas de ensino*. Disponível em: <http://www.universia.com.br/html/materia/materia_ejfg.html>. Acesso em 12 de dezembro de 2006.

- Viccari, R. M.; Giraffa, L. M. M. Fundamentos dos Sistemas Tutores Inteligentes. In: *BARONE, D. (org). Sociedades artificiais: a nova fronteira da inteligência das máquinas*. São Paulo: Bookman, 2003.
- Watson, J.B.; Rayner, R. (1920). *Conditioned emotional reactions*. Journal of Experimental Psychology, 3(1), pp. 1-14. Disponível em <<http://psychclassics.yorku.ca/Watson/emotion.htm>> Acessado em 04 de março de 2007.
- Weber, L.N.D. *Conceitos e pré-conceitos sobre o behaviorismo*. Psicologia. Argumento, 20(31), 29-38, 2002.
- Wier, L.M. *Mary Cover Jones: uma pioneira na terapia comportamental*. Disponível em <<http://www.abpmc.org.br/boletim/jones.pdf>> Acesso em 05 de março de 2007.
- Wigdor, A.K.; Green Jr., B.F. *Performance assessment for the workplace*. Washington D.C.: National Academy Press, Committee on the Performance of Military Personnel / Commission on Behavioral and Social Sciences and Education / National Education Council, USA, 1991.
- Wiley, D. A. *The Instrucional Use of Learning Objects*, 2000.
- Wooldridge, M.; Jennings, N. *Intelligent Agents: Theory and Practice*. London: QM&MC, 1995.
- Woolfolk, A.E.; Woolfolk, R.L. & Wilson, T. (1977). *A Rose by any other name...: Labeling bias and attitudes toward behavior modification*. Consulting and Clinical Psychology. 45, p.184-191.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA A ANÁLISE DE ESPECIALISTAS

(Carta entregue aos especialistas)

Prezado Especialista,

Muito obrigado por participar da análise crítica do trabalho de doutoramento do aluno Ricardo Ramos Fragelli que trata sobre *“Uma Abordagem de Redes Quantizadas e Objetos Multifformes para Modelagem de Domínio em Sistemas de Tutoria Inteligentes”*.

Com base nos textos e na reunião presencial em que foi apresentada a motivação do trabalho, os objetivos principais, o desenvolvimento da modelagem proposta em três níveis (fina, média e grossa), inclusive a formulação matemática, e os resultados obtidos pela simulação computacional de dois exemplos de modelos de domínio (um para o Behaviorismo e outro baseado na aprendizagem significativa de Ausubel), pedimos que faça uma análise crítica em direção aos seguintes questionamentos:

- O sistema idealizado (STI-OAM) se apresenta como uma boa alternativa dentro do contexto da Educação a Distância ou Presencial?
- Os Objetos de Aprendizagem Multifformes (OAM's) fornecem um nível diferenciado de adaptação do conteúdo quando comparado a outros objetos educacionais? Os OAM's apresentam alguma vantagem de uso por parte do aluno ou do professor?
- É possível caracterizar o domínio grosso em diferentes teorias de aprendizagem por meio da nova abordagem de redes quantizadas em que a quantização é realizada por coeficientes que dependem das características do nodo e não da ligação entre eles? Como é vista a possibilidade de crescimento do sistema fazendo a inclusão de

novas teorias de aprendizagem por meio da distribuição dos nodos na rede e da utilização dos coeficientes de quantização?

- As variáveis do sistema, principalmente o coeficiente que especifica a importância dos blocos coesos (p_b), oferecem um nível de controle suficiente para que um agente pedagógico consiga influenciar na quantização da rede e, desse modo, encontrar percursos diferentes para os estudantes?
- Quais os comentários finais sobre a proposta deste trabalho em relação aos pontos fortes do modelo, possibilidades de melhoria, aplicação, aspectos essenciais que deveriam ser aprofundados ou que não foram abordados?

APÊNDICE B – SUMÁRIO EXECUTIVO DA TECNOLOGIA

Neste trabalho foram desenvolvidos três simuladores para a modelagem grossa do domínio de conhecimento com o objetivo de estudar o comportamento do modelo ao ser submetido a diversas condições. Esses simuladores foram construídos utilizando o software Maple V totalizando 423 linhas de programação, um número bastante reduzido devido ao grande número de recursos disponibilizados por meio de bibliotecas de funções e objetos.

Para a fase de estudo e preparação dos objetos de aprendizagem multiformes, foram produzidos dois cursos com conteúdo voltado para estudantes de Engenharia. O primeiro intitulado “*PONTOS – Equilíbrio de Partículas*” contém 18 arquivos, sendo 6 objetos de aprendizagem interativos (3 de teoria e 3 de avaliação), 1 objeto de aprendizagem sem interatividade (lista com 19 exercícios), 5 arquivos de suporte ao professor (1 manual com instruções técnicas, 1 formulário para cadastro do objeto com respectivos metadados, 1 manual de design pedagógico, 1 guia do professor e 1 roteiro de uso em sala de aula) e 6 objetos de suporte à navegação.

O segundo intitulado “*Labirinto vetorial*” contém 18 arquivos, sendo 6 objetos de aprendizagem interativos (3 de teoria, 2 de avaliação e 1 simulador), 1 objeto de aprendizagem sem interatividade (lista de exercícios), 5 arquivos de suporte ao professor (1 manual com instruções técnicas, 1 formulário para cadastro do objeto com respectivos metadados, 1 manual de design pedagógico, 1 guia do professor e 1 roteiro de uso em sala de aula) e 6 objetos de suporte à navegação.

Para estudo da modelagem fina, foram construídos três objetos de aprendizagem interativos, um objeto de aprendizagem multiforme e um simulador da interação entre o objeto multiforme e o STI-OAM, todos construídos em Macromedia Flash MX Professional. Para o objeto multiforme e para o simulador do STI foi utilizada programação orientada a objetos e produzidas cerca de 300 linhas de programação em linguagem ActionScript.