

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

Luis Alberto Alfaro Casas

**CONTRIBUIÇÕES PARA A MODELAGEM DE UM
AMBIENTE INTELIGENTE DE EDUCAÇÃO BASEADO
EM REALIDADE VIRTUAL**

**Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em
Engenharia de Produção.**

Orientação: Luiz Fernando Jacintho Maia, Dr. Eng.

Florianópolis, 1999

Luis Alberto Alfaro Casas

CONTRIBUÇÕES PARA A MODELAGEM DE UM AMBIENTE INTELIGENTE DE EDUCAÇÃO BASEADO EM REALIDADE VIRTUAL

Tese aprovada para a obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO e aprovada em sua forma final pela Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção



Orientador: Prof. Eng. Luiz Fernando Jacintho Maia, Dr.

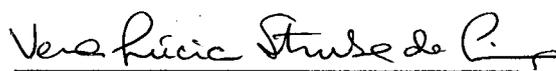


Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.
Coordenador

BANCA EXAMINADORA



Prof. Antônio Carlos da Rocha Costa, Dr.
Examinador Externo



Prof. Vera Lúcia Strube de Lima, Dra.
Examinador Externo

Prof. Francisco A. Pereira Fialho, Dr. Eng.

Prof. Edla Maria Faust Ramos, Dra



Prof. João Bosco da Mota Alves, Dr.
Moderador

“To know how to suggest is the great art of teaching”

Henry-Frédéric Amiel

Dedicatória

À Josefina e José António
À Maximiliana e Enrique
(in memoriam)

À Rosa e Roberto
À José Luis e Sofia Isabel

Agradecimentos

Ao professor Luiz Fernando Jacintho Maia, Dr. Eng., orientador e amigo, pela sua confiança e estímulo, indispensáveis.

Ao professor Francisco Antônio Pereira Fialho, Dr. Eng., orientador no mestrado e co-orientador no doutorado, pela amizade, apoio e sábios conselhos para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores e funcionários do CPGEP/UFSC, na pessoa do coordenador, Prof. Ricardo Barcia Miranda, PhD.

À Cláudia F. de Souza, M. Letras, Profã. da UNESC, pela tradução do “portunhol” e pelas inúmeras correções realizadas no trabalho, assim como pela força e apoio.

Ao programa PEC/CNPq, pelo apoio financeiro que viabilizou meus estudos e minha convivência com a cultura brasileira, experiência de muito valor para minha formação acadêmica.

Aos inúmeros amigos e amigas que conquistei no Brasil, graças aos quais pude me sentir “em casa”.

A las autoridades de la UNSA y colegas del Departamento Académico de Ing. Electrónica de la UNSA, por por las facilidades para realizar este proyecto personal.

Sumário

Índice	viii
Lista de figuras	xii
Lista de quadros	xiv
Resumo	xv
Abstract	xvi

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Definição do tema e do tipo de pesquisa	1
1.2. O contexto do problema e sua relevância	1
1.3. O problema	6
1.4. Hipóteses	9
1.4.1. Hipóteses subjacentes	9
1.4.2. Hipótese geral.....	10
1.4.3. Hipótese de trabalho.....	10
1.5. Delimitação das fronteiras do trabalho.....	11
1.5.1. A pesquisa em Ambientes Inteligentes de Educação suportados pela Realidade Virtual.	11
1.5.2. Objetivos gerais.....	12
1.5.3. Objetivos específicos.....	13
1.6. Justificativa	13

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

PRIMEIRA PARTE: TECNOLOGIA E PLASTICIDADE

2. PLASTICIDADE.....	15
2.1. Organização dos seres vivos	16
2.1.1. Autopoïésis, evolução e aprendizagem	17
2.1.2. O Domínio cognitivo	20
2.1.3. Domínios consensuais	22
2.1.4. O observador e a descrição.....	24
2.1.5. Linguagem, escuta e compromisso.....	26
2.1.6. Significado, compromisso e atos lingüísticos.....	28
2.1.7. Intencionalidade	33
2.2. Desenvolvimento humano.....	37
2.2.1. Desenvolvimento.....	37
2.2.2. Desenvolvimento cognitivo.....	38
2.2.3. Pensamento e linguagem.....	41
2.3. Aprendizagem	44
2.3.1. Perspectivas condutuais da aprendizagem.....	47
2.3.2. Teoria da aprendizagem social.....	50
2.3.3. Perspectiva socio-cultural da educação.	54
2.3.4. Perspectivas cognitivas e construtivistas da aprendizagem.....	57
2.3.5. Perspectiva humanista da educação.....	62
2.3.6. Perspectiva do ensino na biologia do amor.....	63
2.3.7. Comparação das diferentes abordagens da educação.....	65

2.4.	Processamento, recordação e reestruturação do aprendizado	66
2.4.1.	<i>Abordagens associacionista e construtivista da memória</i>	67
2.4.2.	<i>Modelos de processamento de informação</i>	67
2.4.3.	<i>Metacognição, autoregulação e diferenças individuais</i>	72
2.5.	Conclusões	73

3 O ENSINO AUXILIADO POR COMPUTADOR : ESTADO DE ARTE.....75

3.1	Histórico dos desenvolvimentos	75
3.2	Filosofias educacionais baseadas na tecnologia do computador	78
3.2.1	<i>O Planejamento Instrucional</i>	79
3.2.2	<i>O Construtivismo</i>	86
3.2.3	<i>Abordagem Construcionista</i>	92
3.2.4	<i>Abordagem Sócio Cultural</i>	93
3.3	A plasticidade e as tecnologias de informação e comunicação	97
3.3.1	<i>A evolução dos dispositivos de aprendizagem</i>	97
3.3.2	<i>Tecnologia Iniformacional</i>	98
3.3.3	<i>Conhecimentos relevantes para a preparação das pessoas para o trabalho</i>	103
3.3.4	<i>As teorias de aprendizagem que direcionam o modo de adquirir a tomada-de-decisões/conhecimento de navegação e habilidades</i>	106
3.3.5	<i>Quadro analítico para avaliar cada tecnologia</i>	107
3.4	A Realidade Virtual - RV	111
3.5	Estado de Arte da RV	112

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

SEGUNDA PARTE: ELEMENTOS E TÉCNICAS PARA A FORMULAÇÃO DO MODELO

4	REALIDADE VIRTUAL - RV	121
4.1	Definição	121
4.2	Características e elementos da RV	123
4.3	Classificação da RV	127
4.4	Interfaces da RV	130
4.4.1	<i>Aspectos visuais da RV</i>	131
4.4.2	<i>Técnicas gráficas</i>	134
4.4.3	<i>Áudio em três dimensões</i>	136
4.4.4	<i>Feedback tátil e de força</i>	138
4.4.5	<i>Dispositivos de navegação</i>	141
4.4.6	<i>Dispositivos de interação</i>	144

4.5	Realidade virtual e construção de conhecimento	147
4.5.1	<i>Aprendizagem por construção de conhecimento e RV imersiva.....</i>	<i>147</i>
4.5.2	<i>Características das atuais interfaces da RV.....</i>	<i>153</i>
4.5.3	<i>Aprendizagem e representação de conhecimento.....</i>	<i>153</i>
4.6	Alguns problemas da RV em aberto.....	155
4.7	Conclusões	158
5	AMBIENTES INTELIGENTES DE APRENDIZAGEM	160
5.1	Sistemas Tutoriais Inteligentes - STI	161
5.2	Arquitetura clássica de STI	164
5.2.1	<i>Base de conhecimento do domínio.....</i>	<i>165</i>
5.2.2	<i>Modelo do aluno.....</i>	<i>168</i>
5.2.3	<i>Estratégias de ensino.....</i>	<i>170</i>
5.2.4	<i>Módulo de controle.....</i>	<i>180</i>
5.2.5	<i>Interface.....</i>	<i>181</i>
5.3	Outras arquiteturas clássicas.	182
5.3.1	<i>A Proposta de Wu.....</i>	<i>182</i>
5.3.2	<i>A proposta de Djamen.....</i>	<i>185</i>
5.4	Sistemas de Treinamento Inteligente assistido por Computador	189
5.5	Abordagens baseadas na IA Construtivista	191
5.5.1	<i>Mecanismo de Esquemas de Dresher.....</i>	<i>192</i>
5.5.2	<i>Modelo de construção de estruturas cognitivas de Wazlawick.....</i>	<i>193</i>
5.5.3	<i>Arquitetura aberta para simulação de entidades autopoieticas.....</i>	<i>194</i>
5.5.4	<i>Equilibração de teorias em agentes autônomos simbólicos.....</i>	<i>197</i>
6	ABORDAGEM DE AGENTES PARA AMBIENTES INTELIGENTES DE APRENDIZAGEM	199
6.1	Agentes autônomos	199
6.1.1	<i>Agentes inteligentes.....</i>	<i>200</i>
6.1.2	<i>Agentes pedagógicos.....</i>	<i>206</i>
6.2	STI com arquitetura de agentes	211
6.2.1	<i>Abordagem de STI, como uma sociedade de agentes.....</i>	<i>212</i>
6.2.2	<i>Arquitetura SEM.....</i>	<i>216</i>
6.2.3	<i>Ambiente MATHEMA.....</i>	<i>220</i>
6.3	Conclusões e problemas em aberto	226

7	O MODELO	228
7.1	Características do modelo	228
7.2	Arquitetura do mundo virtual para usuários e agentes.	230
7.3	Arquitetura do agente tutor	232
7.3.1	<i>Subsistema domínio de observação e auto-observação</i>	233
7.3.2	<i>Subsistema domínio cognitivo</i>	234
7.3.3	<i>Subsistema de Controle motor</i>	235
8	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.	241
8.1	CONCLUSÕES	241
8.2	SUGESTÕES	243
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E BIBLIOGRAFIA.	245
10.	BIBLIOGRAFIA	255

Lista de figuras

Figura 01: Modelo ZPD de 4 estágios	43
Figura 02: Três sistemas de memória	71
Figura 03: Braço de robot operado remotamente	113
Figura 04: Cabina de simulação de vôo	114
Figura 05: Representação virtual de duas vértebras da coluna vertebral	115
Figura 06: Representação virtual da vista em corte da coluna vertebral	115
Figura 07: Visualização de peças metálicas tridimensionais geradas por técnicas de RV	116
Figura 08: Molécula em representação virtual tridimensional	116
Figura 09: Cabina para diversão em ambiente de RV	117
Figura 10: Projeto arquitetónico virtual do interior de uma cozinha	117
Figura 11: Maquete virtual da distribuição arquitetônica de uma vivenda	117
Figura 12: A RV relacionada a outras tecnologias	119
Figura 13: Par de tenis manufacturados virtualmente.....	120
Figura 14: Elementos de sistemas de RV	123
Figura 15: Interação com mundos virtuais	124
Figura 16: Percepção na RV	124
Figura 17: Ambientes virtuais simulados	125
Figura 18: Modelo capturado com Scanner	125
Figura 19: Modelo calculado e gerado com técnicas e ferramentas de RV	126
Figura 20: Modelo gerado com um sistema CAD	126
Figura 21: Modelo editado a partir de uma combinação de conteúdos	127
Figura 22: Capacete para imersão em primeira pessoa	127
Figura 23: Interação com o ambiente virtual através do monitor	128
Figura 24: Cabina de sistema de RV	128
Figura 25: Interação com sistema de RV em segunda pessoa	130
Figura 26: Interfaces da RV	131
Figura 27: Aspectos visuais da RV	132
Figura 28: <i>Head Mounted Displays</i> - HMDs	133
Figura 29: <i>Single colum</i> LED HMD	134
Figura 30: <i>Binocular Omni Orientation</i> - BOOM	134

Figura 31: Um agente pedagógico	135
Figura 32: Modelo combinado obtido por meio de técnicas gráficas e ferramentas da RV	136
Figura 33: Plataforma de moção	139
Figura 34: Luvas para a interação com objetos no mundo virtual	139
Figura 35: Exoskeleton	140
Figura 36: Interfaces “ <i>haptics</i> ”	141
Figura 37: Oculos com <i>trackers</i> de cabeça	142
Figura 38 : Luva com sensores nos dedos	145
Figura 39 : <i>Power Globe</i> e <i>Shutter Glasses</i>	145
Figura 40: Arquitetura classica de um STI	165
Figura 41: Modelo de overlay	169
Figura 42: Evolução de estratégias de aprendizagem	174
Figura 43: <i>Framework</i> conceitual para STI	183
Figura 44: Arquitetura de ATA	185
Figura 45: Arquitetura de um STI proposta por DJAMEN	187
Figura 46: Relação entre bases de conhecimento física, intencional e funcional	189
Figura 47: Diagrama esquemático do ICAT	191
Figura 48: Mecanismo de esquemas	192
Figura 49: Arquitetura Aberta para simulação de entidades autopoieticas	194
Figura 50: Os agentes que interatuam com os ambientes através de sensores e efetores	199
Figura 51: Taxonomia para agentes autônomos	200
Figura 52: Taxonomia de Agentes pedagógicos	208
Figura 53: Um agente tutor distribuído	214
Figura 54: Arquitetura SEM	219
Figura 55: Arquitetura do MATHEMA	222
Figura 56: STI cooperativo	225
Figura 57: Simulação em ambiente de RV	229
Figura 58: Arquitetura de um ambiente inteligente de educação em RV.....	240

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Uma comparação entre algumas das características formais da intencionalidade de ver, crer, desejar e lembrar	34
Quadro 02: Períodos e níveis para o pensamento infantil.....	44
Quadro 03: comparação das teorias X metodologias X ensino-aprendizagem	65
Quadro 04: Resumo do modelo; três registros, quatro dimensões	71
Quadro 05: Possíveis eventos externos que podem influenciar as fases de aprendizagem	81
Quadro 06: Exemplos de conhecimento fatural (declarativo) e procedural (habilidades)	105
Quadro 07: Três visões teóricas do conhecimento e suas implicações com a pedagogia	107
Quadro 08: Resumo da comparação dos atributos da tecnologia.....	110
Quadro 09: CAI x ICAI ou STI	161
Quadro 10: Resumo das características de tipos de representações de conhecimento	166
Quadro 11: Quadro 11: Características pedagógicas dos <i>driven agents</i>	209
Quadro 12: Propriedades de Agentes x propósitos educacionais	210
Quadro 13: Processo de ensino	215
Quadro 14: Processo aprendido	215

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é analisar a utilização potencial do computador como ferramenta de ensino/aprendizagem, partindo da idéia de que as atividades contínuas e abertas na educação são necessárias nas organizações educativas, produtivas e de serviços, e de que as novas tecnologias podem contribuir para isto. A base teórica desta pesquisa está centrada no desenvolvimento cognitivo humano, levando em consideração a sua base biológica. Depois de estabelecer o estado de arte do ensino assistido por computador, são apresentadas as características da Realidade Virtual imersiva e suas contribuições na construção do conhecimento. São Analisados, também, os ambientes inteligentes para o ensino/aprendizagem, que serviram como fonte de conhecimento para a proposta de um modelo de *agente tutor inteligente*, cuja arquitetura integra métodos das áreas de pesquisa de STI, computação gráfica e arquitetura de agentes, combinação que resulta em um conjunto único de capacidades. Finalmente, são estabelecidas as conclusões e sugestões da pesquisa.

ABSTRACT

The objective of this research is to analyze any possible use of computers as tool for learning and teaching. The basic idea is that, continuous and open end educational activities are necessary at teaching, productive and service supplier organizations, and also that, new technologies can contribute in have it through. The theoretical base for this project is centered upon human cognitive development, which has take into consideration its biological aspects. After setting teaching state of art of Intelligent Tutorial Systems - STI, the characteristics of the imersive Virtual Reality has been researched and its contributions to build up learning. Interconnected environment for teaching and learning has also been analyzed, and used as knowledge source for this model proposal. Has also been presented a model of architecture of the *intelligent sponsor agent*, which integrates STI research area methods, graphic computing and agents architecture. This new matching provides a single and unique set of capabilities. Finally, proposal and suggestions concerning this research are established.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Definição do tema e do tipo de pesquisa

O presente projeto situa-se na confluência das seguintes grandes áreas de pesquisa: Informática Educativa, Realidade Virtual (RV), Ciência Cognitiva e Inteligência Artificial. (A temática abordada pelo projeto é a facilitação do fenômeno de plasticidade em unidades autopoiéticas humanas, mediante o uso de recursos computacionais e da RV). A pesquisa pode ser enquadrada na categoria de pesquisa empírica exploratória, uma vez que se tenta modelar um ambiente inteligente para a educação continuada e flexível, baseada nas modernas tecnologias.

1.2. O contexto do problema e sua relevância

A economia está mudando rapidamente, incorporando uma crescente participação de máquinas inteligentes que automatizam o labor humano. Atualmente, cada vez mais pessoas trabalham em parceria com ferramentas inteligentes para criar produtos e serviços para os clientes. Com esta transformação para uma economia pós-industrial, baseada em conhecimento, (“*knowledge-based*” - KB), ocorre uma evolução dos requisitos do trabalho. Com os avanços em tecnologia de informação previstos para a próxima década, a flexibilidade das pessoas será vital¹. Os aspectos padronizados de resolução de problemas são cada vez mais absorvidas pela máquina. O centro do desafio é a preparação dos estudantes de hoje para os futuros postos de trabalho² (Dede, Lewis, 1995, p. iii).

A evolução mundial dos mercados obriga a que os empregados e empregadores sejam capacitados a competir globalmente no uso dos conhecimentos (ibid., p. 1).

¹ Até que as necessidades para esses novos tipos de habilidades sejam rotineiras no posto de trabalho, mudanças na ênfase da educação ocupacional são difíceis de serem iniciadas em meios acadêmicos e técnicos, requerendo-se que as atuais e futuras gerações de trabalhadores sejam preparadas para competir na arena econômica global.

² As mudanças nas necessidades do posto de trabalho podem requerer a reformulação das metas, da quantidade dos estudantes e do conteúdo da instrução. Mudanças, também, nos métodos pedagógicos, na montagem da estrutura organizacional do ensino/aprendizagem e do lugar ocupado pela educação. As tecnologias de informação e comunicação podem prover o estímulo para possibilitar o novo modelo educacional. Tais avanços que estão transformando a economia podem permitir novos modelos de ensino/aprendizagem para facilitar a caminhada da escola para o trabalho (Dede, Lewis, 1985, p. iii).

Na nova “*ecologia*” econômica, cada nação está procurando um nível de especialização que brinde oportunidades baseadas nos seus recursos econômicos, humanos e naturais.

Os países desenvolvidos que até pouco tempo tinham recursos naturais facilmente acessíveis com pouco trabalho, estão com dificuldades de competir com países que estão se desenvolvendo como “estrelas-crescentes” (*rising-star*), usando intensivamente as facilidades de manufatura industrial padronizada. Contudo, os países desenvolvidos estão utilizando sua potência (perícia tecnológica, uma base industrial avançada, uma cidadania educada) para desenvolver uma economia que use pessoas altamente qualificadas e ferramentas de informação para produzir valor agregado aos produtos (*ibid.*).

Dois tipos opostos de tecnologias de informação estão agora reformando o posto de trabalho: *Máquinas inteligentes que tomam o controle do trabalho, dizendo ao trabalhador o que deve ser feito*³. Em contraposição, *as ferramentas inteligentes fornecem poderosas habilidades aos trabalhadores, que as usam segundo sua escolha*⁴ (*ibid.*).

As máquinas inteligentes tendem a incrementar a eficiência, mas também fazem o trabalho mais mecânico que requeira menos habilidades e salários baixos. A pessoa transforma-se em olhos, braços e personalidade de um dispositivo que está recordando, armazenando, “*pensando*” e tomando decisões. A substituição de um sistema de automação de oficinas para datilógrafas, pelo contrário, requer uma secretária com funções mais sofisticadas.

O aparecimento de novas tecnologias no campo técnico, as variações no meio econômico e legal dos países, ao integrarem-se em organizações supranacionais, unidos às mudanças na mentalidade da sociedade atual, fazem com que o ensino recebido na escola ou universidade tornem-se obsoletos com o transcorrer do tempo, sendo insuficientes para fazer frente às novas situações que se apresentam no âmbito técnico e na vida cotidiana (Fernandez, Lopez, Kumpel, Villa, 1992, p. 333).

A obsolescência e o esquecimento natural dos conhecimentos adquiridos supõem uma redução, na eficácia total da força laboral da empresa. O sistema educacional, responsável pela formação mais ampla do indivíduo, não está preparado para avançar no ritmo das trocas tecnológicas e de processos que ocorrem no sistema produtivo. *O segmento da educação que cresce mais rapidamente está dentro da indústria, que enfrenta a questão de fazer com que a força laboral ande*

³Ex.: dispositivo automático para guiar técnicos médicos através de uma análise de uma amostra de sangue.

⁴Ex.: artistas gráficos usando um programa de computação animada para criar uma história de desenhos.

no mesmo ritmo (Reinhardt, 1995). Torna-se uma necessidade das organizações preparar o indivíduo para um novo papel, mais ativo nas tomadas de decisões e na participação direta na função de direção.

A introdução de novas tecnologias no processo produtivo vem alterando, não somente a forma de realizar as tarefas na empresa, mas também a própria forma de entender e organizar o trabalho. A nova organização tem implicado uma nova ordem social, onde somente os trabalhadores qualificados⁵ terão lugar. A instrução ou adestramento nos moldes em que eram feitos, dentro de um sistema de produção em massa, já não são suficientes e não captam as necessidades de formação do pessoal das novas empresas, no denominado “*Sistema Enxuto*” de produção. Ao mesmo tempo, a natureza altamente rotatória e a crescente diversidade da força de trabalho requerem novas abordagens de capacitação, onde o novo paradigma é aprender enquanto se trabalha (Borges, Borges, Baranauskas, 1995, p. 154).

Este índice pode ter como sua principal fonte, a carência de metodologias, ferramentas e ambientes computacionais adequados para a formação de recursos humanos no Brasil. Portanto, é necessário buscar novas abordagens para a capacitação dos funcionários, que resulte interessante, estimulante e que possa propiciar resultados dentro da nova visão empresarial. Expandir a visão dos funcionários, além de seus labores rotineiros, em busca de uma visão global da participação de seu trabalho específico no processo como um todo, levantando questões de como interpretar e otimizar os processos, é um desafio que pode ser facilitado pelos recursos mediáticos do computador.

A globalização dos mercados e das indústrias de comunicação e entretenimento estão conduzindo a uma rápida evolução da alta performance dos computadores e comunicações. As infra-estruturas de informação regional, nacional e global estão desenvolvendo a melhora das habilidades para sentir, atuar e aprender no processo de aprendizagem, ultrapassando as barreiras de tempo e distância. A maneira como a informação é criada, deliberada e usada nos negócios, governo e sociedade está mudando rapidamente. *Para preparar os estudantes como trabalhadores e cidadãos com sucesso, os educadores podem incorporar no curriculum, experiências com criação e utilização de novas formas de expressão semelhantes à multimídia* (Dede, Lewis, 1995).

⁵As organizações brasileiras investem em capacitação da força laboral menos de 1% das horas trabalhadas durante o ano, por empregado. A média mundial é de 6%, enquanto na indústria japonesa, os empregados passam em média 10% de seu tempo de trabalho em atividades de capacitação (Folha de S. Paulo, Sebrae, 1994).

O projeto centrado no aprendiz (*Learner-Centered*⁶) tem colocado, recentemente, os desafios para a Interação Homen-Computador (IHC), para começos do século 21. Entusiasmados em torno do panorama de ensinar através da tecnologia, Soloway, Guzdial e Hay (*apud* Salzman, Dede, Loftin, 1995, p. 1) *têm impulsionado a comunidade de IHC a projetar, mais que para a usabilidade, para a aprendizagem.* Os educadores têm, continuamente, desenvolvido e aplicado novos tratamentos instrucionais para melhorar os resultados de aprendizagem. A questão colocada nesta pesquisa é o modo como combinar esses tratamentos instrucionais existentes nos desenvolvimentos de Ambientes Inteligentes de Aprendizagem.

A pedagogia em ciências de educação está baseada em dois princípios (*ibid.*):

- A instrução pode desenvolver as habilidades do aprendiz para que compreenda intuitivamente como funciona o mundo natural em vez de inculcar-lhe a representação formal e as habilidades de raciocínio que os cientistas usam. Em outras palavras, fomentar nos estudantes a capacidade de prever quantitativamente o comportamento do universo é inicialmente mais importante que ensinar a ele a manipulação de fórmulas quantitativas.
- A instrução que pode ajudar o aprendiz a desenvolver o seu modelo mental (existente) para uma concepção mais exata da realidade. Os estudantes não são recipientes vazios para ser preenchidos com teorias; eles possuem, freqüentemente, firmes crenças errôneas, a respeito da operação da realidade. Podem ser desacostumados por experiências que revelem a deficiência de seus *frames* conceituais atuais.

Usos da tecnologia de informação⁷, para a aplicação desses dois princípios pedagógicos, têm sido centrada na criação de ferramentas computacionais e representações virtuais que os estudantes podem manipular para complementar sua memória e inteligência na construção de modelos mentais mais exatos. Os objetos transicionais (como as “*tartarugas*” de LOGO) são usados para facilitar a tradução da experiência em símbolos abstratos como proposto por Papert em 1988 e por Fosnot em 1992. Sendo assim, a aprendizagem construtivista está melhorando tecnologicamente, podendo-se afirmar que representações e ferramentas serão usadas para mediar interações entre aprendizes e fenômenos naturais e sociais.

⁶ O projeto *learner-centered* é um tipo especial de *design*, onde o projeto interativo e a avaliação são usados para guiar o desenvolvimento e o refinamento de uma interface e a atividade da aprendizagem. Como foi discutido por Soloway e Guzdial (1994), uma abordagem *learner-centered* pode focalizar-se nos estudantes e suas tarefas (para apreender) e usar a tecnologia como uma ferramenta auxiliar.

⁷ Perkins (*apud* Dede, Salzman, Loftin, 1995, p. 1) classifica os tipos de parafernália oferecidos *pela* tecnologia de informação em: bancos de informação, conjuntos de símbolos, *kits* de construção e gerenciadores de tarefas.

Acredita-se que através do uso da imersão multisensorial em realidades virtuais, materiais abstratos complexos, considerados muitos difíceis, podem ser apreendidos por uma grande quantidade dos estudantes (apud ibid.)

A modalidade de aprendizagem de cada indivíduo é uma combinação de como percebe, organiza e processa a informação. *Embora se possa chamar de várias formas os diversos estilos de aprendizagem, pode-se, de uma maneira simples, separar as duas principais categorias de aprendizagem (Guillon, Mirshauka, 1995, p. 20):*

- *Modalidade, definida como a forma de compreender a informação mais facilmente.*
- *Dominância cerebral, definida como a forma de organizar e processar a informação.*

Entre as modalidades de aprendizagem existem (*ibid.*, p. 21) *as visuais, as auditivas e as cinestésicas*. Em caso que se conheçam as características visuais, auditivas e cinestésicas de um sujeito cognoscente, torna-se mais simples “*ajustar*” o processo de aprendizagem para a modalidade mais adequada. Este processo poderia ser bem realizado mediante o uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), que contam com recursos como a multimídia, hipertexto, hiperlink, realidade virtual e telemática, que podem oferecer flexibilidade, personalização, interatividade e qualidade no ensino.

- A “*multimídia*” - utilização de um computador de “*múltiplos meios*” como textos, gráficos, sons, imagens, animação e simulação, combinados interativamente, para conseguir um efeito determinado (Laurillard, 1998).

- A utilização do “*hipertexto*” permite situar distintos tópicos inter-relacionados uns aos outros, em diferentes níveis de profundidade, possibilitando personalizar a tarefa de aprendizagem, acoplando o aluno a seu próprio ritmo, nível e estilo mais adequados.

- Um bom “*hipertexto*” combinado com “*multimídia*” oferece o que Nielsen chama “*hiperlink*”; recurso ótimo para ambientes de educação aberta e à distância.

- A Realidade Virtual pode ser definida como “*a simulação de meio-ambientes e dos mecanismos sensoriais do homem pelo computador, de maneira tal que busca proporcionar ao usuário a sensação de imersão e a capacidade de interação com meio-ambientes artificiais*” (Rios, 1994, p. 1).

Os grandes motivos pelos quais se pretende promover o desenvolvimento no ensino com recursos de informática são expostos por Tavares (1991, p. 491):

aumentar a motivação dos sujeitos cognoscentes despertando mais interesse e curiosidade pelo ensino; reduzir assimetrias de qualidade média do ensino e do aprendizado; reduzir assimetrias de qualidade garantindo a utilização de certos módulos de ensino com qualidade semelhante em diversos centros de estudos; apoiar sistemas de educação à distância.

Adicionalmente, a utilização de *software* educacional pode trazer também outras vantagens pedagógicas desejáveis, tais como (Giraffa, Oliveira, 1995, p. 144): *individualização no aprendizado, estímulo, motivação e promoção da autoestima no sujeito cognoscente, apresentação dos tópicos educativos de modo atrativo, criativo e integrado.*

1.3. O problema

Os Sistemas Tutoriais Inteligentes (STI) são *pesquisas da Inteligência Artificial no domínio da educação auxiliada por computador* (Linton *apud* Wu, 1996, p. 2), cujo objetivo é a descoberta da forma de fazer do computador um tutor inteligente, capaz de criar uma máquina de representação de fases de conhecimento do aprendiz, que permita estabelecer o aprendizado intermédio e final e de prover guias instrucionais para acelerar a aprendizagem. Apontando estes objetivos, os pesquisadores em STI vêm realizando seus trabalhos, nos últimos 25 anos, sobre um amplo espectro de assuntos teóricos e práticos. *Esta diversificação foi causada em grande parte pelas expectativas dos pesquisadores em STI a respeito de como muitos destes sistemas podem ter uma boa compreensão da aprendizagem humana, baseando-se nas teorias construtivistas ou comportamentalistas (ibid.).*

Procura-se possíveis estratégias instrucionais para a formulação de princípios de aplicação dessas estratégias, que sejam sistemáticas e produtivas, objetivando representações apropriadas em máquinas para a implementação desses princípios e, portanto, tornando os STI não somente possíveis, mas verdadeiramente adaptativos, característica crucial para o respectivo sucesso. Segundo Wu (1996, p. 3), *essas metas provêm os STIs de potencial para a educação.*

Apesar dos empenhos mais efetivos em *aprendizagem auto-regulada* (Winn, 1995), os assistentes instrucionais ajudam o aprendiz. Instrução, no contexto da escola, é um processo oferecido por instrutores humanos e envolve o professor e o aprendiz, distinto do conceito do ensino segundo Gagné (1992). Os méritos da instrução proporcionada por professores humanos são os aspectos dinâmicos e interativos do ensino. Baseado nos relatórios dos experimentos de Cronbach

(apud Wu, 1996), os melhores instrutores são aqueles que podem fornecer adaptação intuitiva baseada na experiência e nas impressões de cada estudante. Obviamente, é extremamente difícil para um STI ter semelhante capacidade (ibid.).

A necessidade para realizar experiências teóricas ou especialmente práticas com as mãos, de uma forma não constrangida pela presença de inspetores ou instrutores, ou a disponibilidade de recursos, incluindo tempo, tem proporcionado um interesse crescente pela RV, como uma forma de instrução de conhecimento nos diferentes domínios.

Um Sistema Tutorial Inteligente (STI), que forneça experiência teórica ou prática, criando situações apropriadas para o ensino ativo de pessoas, requer uma arquitetura com características inerentes a este *design*, em particular: a *flexibilidade* para trocas ou atualizações na base de conhecimento existente ou *um conjunto de procedimentos de treinamento*, que podem se expandir para *reutilizabilidade* se as trocas forem suficientemente vastas para constituírem um STI com uma abordagem que permita:

- uma adaptabilidade que suporte a diversidade de interfaces de *hardware* e *software*;
- um ambiente de aprendizagem baseado em simulação como uma estratégia de ensino, que varia os graus de realismo que podem ser expandidos para treinamento em um ambiente de Realidade Virtual.

O *design* de um sistema de aprendizagem baseado na estimulação real apresenta um estado, que pode ser o seguinte: a formalização do ensino que permita uma fácil manipulação de seus passos e procedimentos definidos, enquanto se preserve a capacidade de manipulação, sem a criação de dependências errôneas. Essa formalização permite modificações para os procedimentos armazenados no sistema de ensino, como característica desejável para efetuar revisões no curso da realização do ensino. Além disso, os passos definidos nesta forma permitem aos procedimentos de ensino proverem as demonstrações das atividades para qualquer combinação das condições iniciais.

A abordagem baseada-em-regras ou não-procedural combinada com métodos objeto-orientados é mais importante que o uso de bases de dados separadas para o armazenamento de regras, fatos e objetos que preencham essas necessidades (Tam, et. al., 1996, p. 2). O uso dos objetos facilita a manipulação de dados para prover uma adaptabilidade simples para as mudanças nos dados que serão armazenados, fazendo uso da encapsulação, manuseio-mensagens, heranças e polimorfismo. A formalização do material de ensino em um esquema tutorial, passo a passo, suporta a estratégia para o ensino baseado na simulação, que segundo alguns autores é o melhor. O modelo de

objetos suporta interfaces diretas com ambientes de RV, os quais pela natureza dos objetos, suportam a adição de melhoras no realismo da RV e dos detalhes desejados.

Uma característica importante de um STI é prover ensino adaptativo, permitindo a realização de atividades apropriadas para que o nível de habilidade do usuário mude, quando acumular experiência no ensino. Esta habilidade é implementada no sistema *Welding Intelligent Training System – WITS (ibid.)*, por meio de *loops de feedbacks* que mostram os parâmetros da sessão de treinamento, de acordo com a performance em sessões prévias de treinamento. Esta performance pode ser definida, baseada em erros ou períodos de necessidade de ajuda. Os parâmetros de todas as inquietudes nas sessões do usuário são armazenadas e essas “*sessões problemáticas*” apresentam-se novamente ao usuário. Este processo assegura ao usuário a prática repetida de suas dificuldades. Segundo Tam *et al.* (1996, p. 3), *o peso dos parâmetros da sessão podem ditar o grau de sucesso de uma sessão em particular. O conjunto desses pesos tomados juntos podem ser vistos como o modelo de um instrutor individual ensinando filosofia.*

O *design* de STI deve ser flexível para permitir a reusabilidade⁸. O conhecimento armazenado pela Base de Conhecimento deve poder ser modificado ou atualizado por um especialista do domínio do assunto, de acordo com as atualizações dos cursos de treinamento a nível de arquivo de bases de dados, fora de qualquer troca no código do sistema ou Base de Dados. Isto habilitaria uma extensão fácil do sistema para gerar outros cursos de treinamento ou STIs que usem semelhantes filosofias de ensino ou treinamento.

Um ambiente educacional que forneça sistemas de ensino de domínios diversos com o conhecimento e a experiência requeridas no mundo-real, para terem sucesso completo devem ser fornecidos com as características da RV, resultando numa poderosa ferramenta para treinamento visual e manual, incluindo a possibilidade de ensino em equipe. Os custos de instrutores e equipamento podem ser diminuídos ou adiados, as lesões resultantes do manuseio são praticamente nulas, os custos de danos no equipamento e custos de pessoal no treinamento podem tornar-se uma relação irrelevante, o treinamento pode ser planejado segundo as conveniências dos treinados. Além disso, a capacidade de retomar as sessões com mínimo esforço seria uma grande vantagem.

As principais questões colocadas numa abordagem exploratória da IA (para modelar um Sistema Inteligente para a Educação baseado na tecnologia de RV), que seja capaz de mostrar um comportamento inteligente observável na sua performance, deixa as seguintes interrogações:

⁸ Para Frakes e Lim (*apud* Arruarte *et al.*, 1996), a reusabilidade de software é definida como o processo de criação de novas aplicações, com desenvolvimentos prévios de software. A primeira meta desta técnica é a melhora da qualidade e produtividade de software.

- permitiriam os ambientes sintéticos a realização de transformações no meio virtual, capazes de gerar no organismo autopoietico humano transformações congruentes com as do meio virtual, como resultado de cada interação que o afeta? Pode assim ser acrescentada à riqueza plástica de um organismo autopoietico humano?

- podem os ambientes sintéticos serem adaptados às características pessoais e ritmo de cada unidade autopoietica humana?

- as experiências em primeira pessoa, que brindam os ambiente sintéticos, são efetivas para gerar comportamentos adequados para experiências relacionadas com conhecimentos declarativos e conhecimentos procedurais?

- está a RV em um estágio tal que ofereça uma interface intuitiva de qualidade entre o homem e a máquina?

- é possível incorporar nos sistemas inteligentes de ensino as características de reusabilidade e interoperabilidade⁹?

- Pode um sistema inteligente para o ensino ser modelado com os novos paradigmas que oferecem a *Inteligência Artificial Distribuída* (IAD) e a *Inteligência Artificial Construtivista* (IAC)?

1.4. Hipóteses

1.4.1. Hipóteses subjacentes

- O uso da tecnologia da informação para melhorar os ambientes de aprendizagem construtivista tem sido centrado na criação de ferramentas computacionais e representações virtuais para que os aprendizes possam manipular.

Na abordagem construtivista, o conhecimento é algo que o aprendiz incorpora nas suas estruturas cognitivas e a aprendizagem é um processo ativo de construção de *frameworks* conceituais. A abordagem computacional para a construção de STI foi introduzida posteriormente e baseia-se neste ponto de vista.

⁹ A interoperabilidade facilita a criação de grandes sistemas pela definição de solicitações para interação de transações entre muitos sistemas pequenos, como a INTERNET (TCP/IP), cuja *interoperabilidade evidencia a habilidade da rede na comunicação de software e hardware de múltiplos fornecedores, para seguir protocolos padronizados* (Rowley, 1996).

- Os avanços na aprendizagem colaborativa suportada por computador, multimídia, hipermídia e simulação de experiência oferecem o potencial para criar “*ambientes de aprendizagem através do fazer*” disponíveis em qualquer lugar e tempo.

Os educadores têm, continuamente, planejado e aplicado novos tratamentos instrucionais para melhorar os resultados da aprendizagem. Os temas abordados nesta pesquisa estão direcionados em função de combinar esses tratamentos instrucionais na construção de STI.

- A engenharia sofreu uma mudança transcendente ao incorporar o computador como ferramenta, fato que gerou a necessidade de uma mudança na educação e na formação do engenheiro, levando-se em conta tanto o desenvolvimento de *software* educativo, como a maneira de ensinar a planejar e resolver problemas com a ajuda do computador.

- Os novos meios tecnológicos usados para a educação não são, em si mesmos, uma finalidade, são uma nova “*tecnologia educativa*”, cuja base e centro de ensino continuará sendo sempre o ser humano: aluno e professor.

1.4.2. Hipótese geral

- O novo sistema educativo deve permitir flexibilidade, autonomia e cooperação dentro de um conceito de educação permanente e contínua. É conveniente desenvolver novos modelos educacionais para oferecer novas oportunidades aos participantes do processo de ensino-aprendizagem.

1.4.3. Hipótese de trabalho

- Os ambientes inteligentes para a aprendizagem devem incluir *experiências “por fazer”* relacionadas às solicitações de aprendizagem do sujeito cognoscente e a possibilidade de administrar estratégias baseadas em abordagens pedagógicas diversas, que facilitem e adequem o processo de aprendizagem a cada indivíduo ou grupo de indivíduos.

Segundo a proposta de Maturana (1972), a organização de um sistema cognitivo define um domínio de interações, onde possa atuar priorizando a manutenção de si mesmo, sendo o processo de cognição a atuação ou conduta real (indutiva) neste domínio. O domínio cognitivo prioriza a estrutura de trocas do sistema com a conduta, eficaz para a sobrevivência. É portanto, neste domínio, que se pode fazer distinções baseadas em palavras tais como “*intenção*”, “*conhecimento*” e “*aprendizagem*”. Segundo este autor, o domínio cognitivo não é simplesmente um nível (mental) diferente que proporciona uma descrição mecanicista do funcionamento de um organismo. É um domínio para a caracterização da ação efetiva ao longo do tempo. É essencialmente temporal e histórico.

A adaptabilidade do sistema às características individuais é uma condição fundamental para atender aos interesses do sujeito cognoscente que pressupõe o respeito às suas características pessoais e ritmo de trabalho.

- Para Maturana e Varela (1970), o organismo não constrói uma representação do meio, nem processa uma conduta adequada para ele, pois no seu operar, não existe meio, nem lembrança, nem memória, existe apenas uma dança estrutural no presente, que segue um curso congruente com a dança estrutural do meio, ou se desintegra (morre). A conduta do organismo permanece adequada apenas para conservar sua adaptação durante suas interações e o que um observador vir como lembrança consiste, precisamente, na aparição de condutas que ele vir como adequadas, por que o organismo conserva sua adaptação frente a essas perturbações do meio (real ou virtual) e também as que ele vir como recorrentes. Segundo esta perspectiva, não existem interações instrutivas, pois o meio apenas seleciona as mudanças estruturais do organismo, mas não as especifica.

Os ambientes para a educação, baseados em RV, podem facilitar o processo de acrescentar a riqueza plástica de unidades autopoieticas humanas através da estimulação multisensorial, possibilitando a construção de conhecimento em primeira pessoa.

- Se a cognição for não-simbólica e a aprendizagem for vinculada à ação, então o conhecimento é construído através da interação com o mundo real ou virtual. A RV sensorial imersiva tem se revelado como uma poderosa ferramenta de ensino e treinamento. Suas interfaces possuem potencial para complementar abordagens existentes para o ensino, especialmente, se associadas às técnicas da computação gráfica e tecnologias inteligentes.

A imersão multisensorial para a aprendizagem depende do acionamento de fatores não-simbólicos e sensoriais.

1.5. Delimitação das fronteiras do trabalho

1.5.1. A pesquisa em Ambientes inteligentes de Educação suportados pela Realidade Virtual.

As pesquisas na construção de Ambientes Inteligentes de Educação (mais conhecidos como Sistemas Tutoriais Inteligentes - STI) estão em andamento há aproximadamente 20/25 anos. Realizadas por diversos autores, tais como Anderson (1985 *apud* Guin, 1991), Giraffa (1977), Rickel e Johnson (1998) e muitos outros, mostram que as características chave de um sistema tutorial são suas habilidade para diagnosticar as concepções erradas do aprendiz durante a processo de ensino-aprendizagem, e baseado nesses diagnósticos o sistema fornecerá ao estudante o ensino subsidiário

adequado. Contudo, muitas questões psicológicas envolvidas no ensino-aprendizagem, e na compreensão ainda não têm recebido respostas convincentes.

A individualização ou adaptabilidade para o usuário é o objetivo fundamental no desenvolvimento de sistemas interativos atuais. Usualmente, os usuários de sistemas interativos têm características, *background*, habilidades e motivações diferentes e esta heterogeneidade do usuário não pode ser ignorada. Na verdade, espera-se que os sistemas interativos forneçam facilidades e *feedback* sensíveis e adaptáveis às necessidades, conhecimentos, metas, desejos ou características dos usuários e aprendizes. Tal adaptabilidade pode ser realizada pela presença de modelos *on-line*, que possuam capacidade de reter algumas características dos usuários.

Adicionalmente, as enormes dificuldades na criação de uma máquina que pudesse representar os estágios de aprendizagem dos estudantes e identificar suas possíveis concepções erradas, contribuíram com a diversificação da pesquisa nos STIs e ILEs - *Intelligent Learning Environment*-. Com relação à importância das pesquisas em andamento, alguns autores acreditam que o ensino auxiliado por computador é uma alternativa atrativa para o fornecimento de assistência para os estudantes que aprendem auxiliados por tutores humanos e para professores responsáveis pela aprendizagem deles e também para os estudantes que aprendem sozinhos, especialmente quando não contam com ajuda de tutores humanos ou quando estes não têm disponibilidade de tempo.

Um STI deve ter várias características distintivas inerentes ao seu *design*, em particular:

- A flexibilidade para mudanças, evoluções e atualizações na base de conhecimento ou no conjunto de procedimentos de treinamento, que possam suportar a reusabilidade, se as mudanças forem suficientemente vastas para constituir um STI completamente diferente.
- Uma flexibilidade e adaptabilidade que possa suportar a capacidade de operação multi-usuário e incorporar a diversidade de interfaces de *hardware* e *software* para fornecer recursos e ferramentas solicitados pelo domínio do assunto a ser ensinado.
- Um ambiente para a aprendizagem baseada em simulação como uma estratégia de aprendizagem, que possa ter diferentes graus de realismo abrangendo, também o ensino em ambientes de RV.

1.5.2. Objetivos gerais

- Propor a arquitetura de um Modelo de Ambiente Inteligente para a Educação, que englobará aspectos da Informática Educativa, da Realidade Virtual (RV), da Ciência Cognitiva e da Inteligência Artificial.

- Propor os modelos de implementação de situações de ensino suportadas em RV e baseadas nos pressupostos da abordagem construtivista do ensino-aprendizagem e da teoria socio-biológica de Maturana e Varela.

- Propor um sistema com capacidade de evolução incremental desde estágios iniciais a estágios superiores, através da “*aprendizagem*” pela interação com os usuários.

1.5.3. Objetivos específicos

- Realizar a modelagem dos componentes centrais utilizando uma arquitetura multi-agente.

- Descrever o conhecimento pedagógico em termos de interações entre agentes.

- Fornecer ao modelo a capacidade de trocar o domínio de conhecimento associado a estratégias de abordagens pedagógicas diversas, fornecendo flexibilidade e adaptabilidade às solicitações do sujeito cognoscente.

- Utilizar ambientes de RV como ferramenta para a construção de conhecimento.

- Incorporar no modelo a utilização de tecnologia moderna para a aquisição e tratamento de dados e sua utilização pelo usuário do sistema.

- Projetar as interfaces homem-computador mais adequadas para o sucesso do modelo.

1.6. Justificativa

Os recursos de informática estão sendo incorporados na educação, na medida em que se verifica a tendência gradativa de assimilar: novas concepções de organização do trabalho e novas tecnologias de informação e comunicação presentes na sociedade atual.

A informática e a RV, por serem ferramentas cada vez mais presentes no processo de trabalho, são tecnologias de apoio à aprendizagem, e têm o potencial para ser uma das mediadoras das complexas relações entre educação e trabalho. Estas tecnologias podem, ainda, auxiliar na promoção de mudanças que a escola, a universidade e o setor industrial necessitam imprimir em seu cotidiano.

Como será dito em diferentes partes desta pesquisa, a relevância desta proposta radica na necessidade de procurar ferramentas adequadas para a educação contínua e flexível da força laboral, como fator imprescindível para o sucesso da empresa, dentro de um ambiente caracterizado pela inovação tecnológica contínua e crescente e tendente à globalização dos mercados.

Este projeto é relevante, na medida em que procura modelar um ambiente inteligente virtual de aprendizagem, baseado na estimulação multisensorial, semelhante aos estímulos fornecidos pelo mundo real. Uma característica importante de um sistema desta natureza é o fornecimento de ensino adaptativo, ou seja, atividades apropriadas para o nível de habilidade e de experiência do usuário. O sistema deverá garantir o treinamento repetido do usuário, para superar suas dificuldades no cenário da aprendizagem.

Um sistema com estas características permitirá a aprendizagem de domínios de conhecimento caracterizados, tipicamente, como “*árduos*”, “*difíceis*”, “*perigosos*”, etc., seja pela sua complexidade, dificuldade de abstração, alto grau de simbolização, altos custos que acarretam os investimentos em maquinarias, ferramentas e materiais, etc., ou pelos perigos que envolvem a manipulação de alguns equipamentos ou materiais, assim como a imersão em ambientes perigosos, entre outros fatores, e que, atualmente são ensinados através de experiências em terceira pessoa, mediando a comunicação com símbolos verbais, escritos em textos, gráficos, imagens, etc., acrescentando as possibilidades de gerar erros de concepção de procedimentos, mal-entendidos, etc., que geralmente podem afetar múltiplos aspetos produtivos da empresa, ou até desencadear acidentes de trabalho ou doenças profissionais. O trabalho procura analisar estas questões em forma global, contribuindo para a reflexão das práticas exercidas no ensino escolar e universitário.

A principal contribuição deste trabalho, no modesto critério do autor, radica na idéia de usar as experiências em primeira pessoa como um recurso para acrescentar a riqueza plástica das unidades autopoieticas humanas. Nesse sentido é que tenta-se abordar o problema sob uma perspectiva multidisciplinar.

Espera-se contribuir efetivamente na melhoria dos sistemas de ensino-aprendizagem suportados por novas tecnologias.

Finalmente, procura-se ferramentas computacionais de *hardware* e *software* para o desenvolvimento do modelo, que forneçam metodologias de modelagem para estas entidades fisicamente abstratas.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

PRIMEIRA PARTE: TECNOLOGIA E PLASTICIDADE

2. PLASTICIDADE

Os sistemas vivos são entidades autopoieticas¹ com uma estrutura dinâmica que lhes permite interagir entre si de modo recorrente, gerando um tipo de acoplamento estrutural ontogênico² chamado domínio consensual, ou interagir com seu meio ambiente, ampliando outro tipo de acoplamento estrutural chamado adaptação ontogênica (Maturana, Guilloff, 1992, p. 59).

Os processos que geram o comportamento inteligente são aqueles que participam do estabelecimento ou ampliação de qualquer domínio de acoplamento estrutural ontogênico e aqueles que participam da operação dos organismos envolvidos em tal domínio. A seguir, serão revisados os conceitos a respeito da organização dos seres vivos; como proposto por Maturana e Varela (1992), do desenvolvimento humano, da aprendizagem, do processamento, recordação e reestruturação do aprendizado.

¹Uma máquina autopoietica é organizada como um sistema de processos de produção de componentes concatenados de tal maneira que produzem componentes que (Maturana, Varela, 1972):

- i) regeneram os processos (relações) de produção que os produzem, através de suas contínuas interações e transformações, e;
- ii) constituem a máquina como uma unidade no espaço físico.

²Ontogenia: considera-se um processo integral de desenvolvimento em direção a um estado adulto, mediante o qual se alcançam certas formas estruturais que permitem ao organismo desempenhar certas funções, em concordância com o plano inato que o delimita em relação ao meio circundante. A ontogenia de um sistema vivo é a história da conservação de sua identidade através de sua autopoiesis continuada no espaço físico.

2.1. Organização dos seres vivos

Para Maturana e Varela (1972, p. 17):

entre as máquinas, existem aquelas que mantêm algumas de suas variáveis constantes dentro de uma gama limitada de valores. Na organização dessas máquinas isto deve expressar-se de tal modo, que o processo se defina como ocorrendo integralmente dentro dos limites que a mesma organização da máquina especifica. Tais Máquinas são homeostáticas, e toda retroalimentação é interior a elas.

As máquinas autopoieticas são homeostáticas³.

Para classificar um sistema como autopoietico, *é necessário que ele tenha capacidade de dar uma significação precisa aos processos de produção dos componentes e de geração de uma fronteira, pois é na geração da fronteira que se produz a identidade* (Ramos, 1995, p. 69):

As conseqüências desta organização são importantíssimas, a saber (Maturana, Varela, 1972):

- i) as máquinas autopoieticas são autônomas;
- ii) possuem individualidade;
- iii) são definidas como unidades somente por sua organização autopoietica, e;
- iv) não possuem entradas nem saídas.

O fenômeno da autopoiesis é bastante geral. Pode-se aplicá-lo aos sistemas existentes em qualquer domínio, nos quais podemos identificar unidades e componentes. Um sistema autopoietico mantém constante sua organização e define suas fronteiras por meio da produção contínua de seus componentes. Se a autopoiesis é interrompida, a organização do sistema – sua identidade como uma classe particular de unidade – se perde e o sistema se desintegra (morre). Um sistema autopoietico existente no espaço físico é um sistema vivo. A característica essencial de um ser vivo é que ele constitui um conjunto de componentes, conformando uma unidade que pode viver ou morrer. O funcionamento de um organismo como sistema determinado por sua estrutura, com o seu potencial de desintegração, conduz à adaptação e à evolução.

A noção de autopoiese é necessária e suficiente para definir um sistema vivo. É óbvio que ser for aceito que os seres vivos são máquinas, então são máquinas autopoieticas. Entretanto, nem

³ Homeostáticas, isto é, tendem a um equilíbrio nas suas interações com o meio ambiente no qual estão inseridas.

toda máquina autopoietica é um sistema vivo. A dificuldade em se perceber este fato deve-se, de acordo com Maturana e Varela, a razões ligadas ao domínio da descrição (Ramos, 1995, p. 70):

- a) pelo menos conceitualmente, perfeitamente previsível;
- b) enquanto a natureza do ser vivo for desconhecida, fica difícil identificar quando um sistema é ou não vivo;
- c) a crença de que observação e experimentação, sem nenhum recurso à análise teórica, sejam suficientes para revelar a natureza do ser vivo.

Uma das características mais evidentes dos seres vivos é sua autonomia. Esta questão tem estado envolvida numa aura de mistério. Maturana e Varela (1992, p.28) propõem que o mecanismo que torna os seres vivos autônomos é a *autopoiese*. A vida mesmo se especificou, dentro do domínio molecular, a partir de um processo desse tipo, enquanto ela mesma é um desses processos autônomos. Diz-se que um sistema é autônomo quando é capaz de especificar as suas próprias leis, ou o que é adequado para si.

2.1.1. Autopoiesis, evolução e aprendizagem

A compreensão dos autores acima citados, sobre a relação de um organismo com o seu meio circundante, conduz a um problema epistemológico. Nas teorias de conhecimento da cultura ocidental, as pessoas “armazenam” representações de conceitos “em suas mentes”; baseadas na informação recompilada por meio da percepção; o cérebro de alguma maneira armazena os fatos, utiliza-os para extrair conclusões e atualiza-os com base na experiência.

Os cientistas citados (1992) vêem a percepção como uma operação de distinção, onde o sistema nervoso, sendo um *sistema fechado*⁴, leva ao questionamento de como um organismo pode ter conhecimento do mundo. Maturana tenta explicar as origens de todos os fenômenos da *filogenia*⁵ (história da espécie) e da *ontogenia*⁶ (histórias do indivíduo) dos seres vivos ou máquinas autopoieticas.

⁴Um sistema autônomo é operacionalmente fechado quando sua organização é caracterizada por processos (Maturana, Varela, 1992, p. 109):

- a) dependentes recursivamente uns dos outros pela geração e realização desses mesmos processos;
- b) constituintes do sistema como uma unidade reconhecível dentro do domínio onde o processo existe.

⁵Sucessão de formas orgânicas que têm parentesco seqüencialmente por relações reprodutivas. E as mudanças experimentadas ao longo da filogenia constituem a mudança filogenética ou evolutiva (Maturana, Varela, 1992, p. 69).

⁶A adaptação de uma unidade em um meio é uma consequência necessária do acoplamento estrutural dessa unidade nesse meio. Em outras palavras: a ontogenia é a história da mudança estrutural de uma unidade sem que esta perca sua organização (Maturana, Varela, 1992, p. 49).

Os sistemas autônomos são operacionalmente fechados. Os sistemas vivos desempenham o papel de casos paradigmáticos na caracterização do fechamento operacional. A autopoiese é um caso particular de sistema operacionalmente fechado e a autonomia dos sistemas vivos não é mais do que um tipo específico de autonomia (Ramos, 1995, p. 71).

O mecanismo através do qual um organismo se põe em funcionamento, adequadamente, em um meio é a seleção de mudanças estruturais do indivíduo e a seleção de possibilidades de sobrevivência e desintegração. Um sistema plástico⁷ determinado pela sua estrutura (ou seja, cuja estrutura pode mudar ao longo do tempo enquanto mantém sua identidade) autopoietica precisará evoluir num sentido tal que suas atividades acoplem-se adequadamente a um meio. Sua estrutura deve mudar de tal modo que gere mudanças de estado apropriadas, desencadeadas por mudanças perturbadoras específicas nesse meio; caso contrário se desintegrará.

Para Maturana (1970), *o aprendizado não é um processo de acumulação de representações do meio, mas é um processo contínuo de transformação do comportamento, através de uma troca contínua na capacidade do sistema nervoso para sintetizá-lo*. A evocação das representações não depende da retenção indefinida de uma invariante estrutural que representa uma entidade (uma idéia, imagem ou símbolo), mas sim da habilidade funcional do sistema para criar, quando há certas condições de recorrência, um comportamento que satisfaça as demandas recorrentes, classificado pelo observador como reativador prévio.

A conduta não é uma invenção do sistema nervoso. É própria de qualquer unidade vista num meio onde se especifica um domínio de perturbações e mantém sua organização como resultado das mudanças de estado que estas lhe engatilham (Maturana, Varela, 1992, p. 97). As associações usuais à palavra conduta, geralmente são ações tais como caminhar, comer, buscar. Examinando todas essas atividades associadas à conduta, vemos que elas relacionam-se com movimento. O movimento, seja este sobre terra ou água, não é característica de todos os seres vivos. Entre as muitas formas resultantes da deriva natural, existem algumas nas quais o movimento está excluído. Na realidade, do ponto de vista da aparição e transformação do sistema nervoso, a possibilidade de movimento é essencial (*ibid.*, p. 98). Não percamos de vista que a aparição desta classe de movimento não é universal nem necessária para todas as formas de seres vivos. As plantas,

⁷A riqueza plástica do sistema nervoso não está no sentido de guardar as representações dos fatos do mundo, mas sim em que sua contínua transformação permanece congruente com as transformações do meio, como resultado de que cada interação o afeta. Do ponto de vista do observador, aprendizagem adequada. Mas o que ocorre é que os neurônios, o organismo que integram e o meio com que interagem, operam reciprocamente como seletores das suas correspondentes mudanças estruturais, e acoplam-se estruturalmente entre si: o operar do organismo, incluindo seu sistema nervoso, seleciona as trocas estruturais que lhe permite seguir operando ou se desintegra (Maturana, Varela, 1992, p. 111).

por exemplo, realizam sua manutenção através da fotossíntese, quando dispõem de um suporte fixo e constante de nutrientes e água no chão, e de gases e luz na atmosfera, que permitam sua conservação e adaptação sem grandes movimentos.

Para um observador, é evidente que existem múltiplas possibilidades de movimento, muitas das quais aparecem realizadas nos seres vivos como resultado de sua evolução natural. Assim, os organismos móveis não baseiam a reprodução só no movimento, mas também na adequação ao meio. A evolução natural tem levado ao estabelecimento da mobilidade, que revela sua importância no sistema nervoso.

O acoplamento estrutural é a base, não só das mudanças ocorridas em uma mesma unidade autopoietica ou indivíduo ao longo de sua vida (aprendizagem), mas também das ocorridas a através da reprodução (evolução). Com efeito, toda mudança estrutural pode ser vista como ontogênica (que ocorre durante a vida de um indivíduo). Uma mutação genética é uma mudança estrutural em um progenitor que não tem efeito direto sobre o seu estado de autopoiesis, até que cumpra uma função no desenvolvimento da prole.

Para Maturana (1978):

“se o observador deseja discriminar entre a conduta aprendida e a instintiva, descobrirá que na sua realização atual ambos os modos são determinados, igualmente, pelas estruturas do sistema nervoso e do organismo, e portanto, neste aspecto são distinguíveis. A distinção entre condutas aprendidas e instintivas reside, exclusivamente, na história do estabelecimento das estruturas responsáveis por elas”.

O *acoplamento estrutural* (Maturana, Varela, 1992, p. 50), gerado sob as demandas da autopoiesis, cumpre a função, atribuída ingenuamente de *possuir uma representação do mundo*. No domínio cognitivo, a continuação explica como a história das perturbações do ser vivo (e dos seus ancestrais) conduz à estrutura que as determina.

Para Maturana (1993, p. 82), *a aprendizagem ocorre quando a conduta de um organismo varia durante sua ontogenia, de maneira congruente com as variações do meio, o que faz seguindo um curso contingente nas suas interações com ele*. Que o sistema nervoso participa dos fenômenos da aprendizagem, evidencia-se quando existe interferência produzida por dano ou alteração. Esses fenômenos denominados de aprendizagem podem ser descritos de muitas maneiras diferentes – “*geração de uma conduta adequada ao meio, a partir de uma experiência prévia*”, ou “*aquisição de uma habilidade nova, como resultado da prática*”, segundo a qual o observador queira enfatizar – parece que a caracterização proposta acima é necessária e suficiente para abarcar todos os casos possíveis.

Existem duas perspectivas básicas para se explicar o fenômeno da aprendizagem:

- Segundo uma perspectiva, o observador vê o meio como o mundo onde os organismos têm que existir e atuar, e que proporciona a informação, os dados, e os significados que precisam para representá-lo, e computar as condutas adequadas que lhes permitirá sobreviver nele.

De acordo com esta visão, a aprendizagem é um processo mediante o qual um organismo obtém informação do meio e constrói sua representação, armazenando-a na memória e utilizando-a para gerar uma conduta em resposta às perturbações deste meio. A partir deste ponto de vista, a lembrança consiste em achar na memória a representação requerida para trazer respostas adequadas às interações recorrentes do meio.

Sob esta perspectiva, o meio é instrutivo, pois especifica no organismo mudanças de estado, que por serem congruentes, constituem uma representação dele.

- Segundo outra perspectiva, o observador vê que a conduta de um organismo (com seu sistema nervoso incluído) está determinada a cada instante por sua estrutura, e só pode adequar-se ao meio se esta estrutura for congruente com a do meio e sua dinâmica de mudança.

Concordando com esta visão, a aprendizagem é o curso da mudança estrutural que segue o organismo (incluído seu sistema nervoso) em congruência com as mudanças estruturais do meio, resultante da recíproca seleção estrutural que se produz entre eles durante a recorrência das suas interações, conservando suas respectivas identidades.

O organismo, assim, não constrói uma representação do meio, nem encontra uma conduta adequada a ele. Para que ele opere não existe meio, não existe lembrança nem memória, apenas uma dança estrutural no presente, que segue um curso congruente com a dança estrutural do meio sob pena de desintegrar-se. A conduta do organismo permanece adequada apenas se conservar sua adaptação durante suas interações, e o que um observador vir como lembrança consiste precisamente nisso, na aparição de condutas que lhe parecem adequadas, por que o organismo conserva sua adaptação frente às perturbações do meio como recorrentes.

Segundo esta perspectiva, não existem interações instrutivas, pois o meio apenas seleciona as mudanças estruturais do organismo, não as especifica.

2.1.2. O Domínio cognitivo

A preocupação fundamental de Maturana (*op. cit*) é compreender o significado da “cognição”, relacionada com a natureza fundamental dos seres vivos. Rechaçando a metáfora do tratamento da informação como base da cognição, substitui a pergunta “*como obtém o organismo informação a respeito do seu meio?*” pela “*como ocorre o fato de que um organismo tenha a*

estrutura que lhe permite operar adequadamente no meio em que existe?". Não se pode responder à pergunta de como opera um sistema nervoso, se não se descer a uma compreensão mais profunda de que a atividade cognitiva é comum a todo tipo de vida e se determina pelo fenômeno subjacente da autopoiesis. Como observa o autor citado (1970), "*os sistemas vivos são sistemas cognitivos e a vida é um processo de cognição. Esta afirmação é válida para todos os organismos com ou sem sistema nervoso*".

O que significa então entender um organismo como um sistema cognitivo?

A organização de um sistema cognitivo define um domínio de interações onde pode atuar com relevância à manutenção de si mesmo, sendo o processo de cognição a atuação ou conduta real (indutiva) neste domínio (Maturana, 1970, p. 13).

Uma explicação cognitiva tem relação com a relevância da ação para a manutenção da autopoiesis e opera num domínio fenomenológico, distinto do domínio de conduta mecanicista determinada pela estrutura:

"... como resultado do acoplamento estrutural que tem lugar ao longo da história, esta toma corpo tanto na estrutura do sistema nervoso vivo, como na estrutura do meio, ainda quando ambos os sistemas operam sempre necessariamente no presente, por meio de processos determinados localmente como sistemas determinados pela estrutura.... A história é necessária para explicar como um sistema, ou fenômeno dado vêem a realidade, mas não participa na explicação da operação do sistema ou fenômeno no presente" (Maturana, 1978, p. 39).

Para os observadores, é possível gerar descrições da atividade dos seres vivos em qualquer domínio. Uma dessas descrições, essencialmente histórica, refere-se à estrutura do sistema e sua determinação sobre a conduta. Não importa como o sistema chega a ser como é, apenas é. Ao mesmo tempo pode-se descrever (como observadores de uma história de mudança dentro de uma estrutura e do meio) o modelo de interações, através dos quais a estrutura produz a si mesma e a relação das mudanças, que geram ações efetivas. Este segundo domínio de explicação, Maturana denomina "*cognitivo*". Esse domínio faz referência à relevância da estrutura mutante do sistema com uma conduta eficaz para a sobrevivência.

É, portanto, neste domínio cognitivo, que podem ser feitas distinções, baseadas em palavras tais como "*intenção*", "*conhecimento*" e "*aprendizagem*". Para Maturana, o domínio cognitivo não é simplesmente um nível (mental) diferente, que proporciona uma descrição mecanicista do funcionamento de um organismo, é a caracterização da ação efetiva ao longo do tempo, é essencialmente temporal e histórica. *Um dos objetivos principais de Maturana é superar a tendência*

(imposta pela linguagem⁸) de tratar os termos mentais como descrições de estado ou estrutura (Flores, Winograd, 1989, p. 78).

Maturana reconhece o significado de um domínio que é independente da estrutura do sistema cognitivo e rechaça a visão condutista, argumentando que não se pode operar com o “organismo” e o “meio” como duas coisas independentes que interagem. Não se pode identificar os estímulos existentes independentemente da unidade e falar de sua história de respostas a eles. A unidade especifica em si mesma o espaço em que existe.

2.1.3. Domínios consensuais

As fontes de perturbação para um organismo incluem outros organismos de distinta ou mesma classe. Na integração entre eles, cada organismo sofre um processo de acoplamento devido às perturbações geradas pelos outros. Este processo mútuo pode conduzir a modelos de conduta entrelaçados que formam um domínio consensual.

Quando dois ou mais organismos interagem recursivamente como sistemas estruturalmente plásticos ...

“o resultado é um acoplamento estrutural ontogênico. Para um observador, o domínio de interações especificado através do acoplamento ontogênico estrutural, aparece como uma rede de seqüências de condutas mutuamente entrelaçadas... As diversas condutas ou comportamentos envolvidos são também arbitrários e contextuais. Os comportamentos são arbitrários, já que podem ter qualquer forma, enquanto operam com perturbações que dispersam nas interações; também são contextuais, porque sua participação nas interações entrelaçadas do domínio se definem, unicamente, com respeito às interações que constituem o domínio. Denominaremos o domínio de condutas entrelaçadas... um domínio consensual” (Maturana, 1978, p. 47).

A geração de um domínio consensual determina-se pela história de estados e interações entre os participantes (e seus progenitores), no domínio físico. Mas também, como observadores deste

⁸Dois organismos ao interagirem recorrentemente geram como consequência um acoplamento social no qual se envolvem reciprocamente na realização das suas respectivas autopoiesis. As condutas que se dão nesses domínios de acoplamentos sociais podem ser comunicativas e também inatas ou adquiridas. Para os observadores, o estabelecimento ontogênico de um domínio de condutas comunicativas pode ser descrito como o estabelecimento de um domínio de condutas coordenadas associadas a termos semânticos. Isto é, como se o determinante da coordenação condutual assim produzida fosse o significado do que o observador puder ver nas condutas, e não no acoplamento estrutural dos participantes. É esta qualidade das condutas comunicativas ontogênicas de poder aparecer como semânticas para um observador que trata a cada elemento condutual como se fosse uma palavra, o que permite relacionar a estas condutas a linguagem humana. Mais ainda, é esta condição ressaltada ao designar esta classe de condutas como constituindo um domínio lingüístico entre os organismos participantes (Maturana, Varela, 1992, p. 138).

comportamento, podemos distinguir um novo domínio, onde existe o sistema de condutas. O domínio consensual não é reduzível ao domínio físico (as estruturas dos organismos que participam dele), nem ao domínio das interações (a história pela qual chega a ser), ao contrário, ele gera-se no jogo mútuo através de acoplamentos estruturais determinados pelas demandas de autopoiesis para cada participante.

Maturana refere-se ao comportamento em um domínio consensual como “*comportamento lingüístico*”. Naturalmente, a linguagem humana é um claro exemplo desse domínio e as propriedades como arbitrário e contextual foram tomadas às vezes como suas características definidoras. O autor estende o domínio “*lingüístico*” para qualquer domínio de interações geradas mutuamente. Os atos de linguagem, como qualquer outro ato de um organismo, podem ser descritos no domínio da estrutura, assim como no domínio da cognição. Não obstante, sua existência como linguagem é gerada no domínio consensual, por interação mútua. Entre a comunidade de indivíduos existe linguagem, e o domínio consensual regenera-se continuamente através de sua atividade lingüística, assim como pelo acoplamento estrutural gerado por esta atividade.

Segundo Karlgren e Ramberg (1996, p. 4), *a linguagem é essencialmente uma atividade social e o significado das palavras não está baseado em alguma coisa privada*; como disse Wittgenstein (*apud ibid.*), o significado das palavras não pode ser alguma representação exclusivamente “*mental*” ou “*privada*”. Seu argumento, de qualquer modo, não nega a possibilidade de que algo privado exista.

Desde a visão tradicional cognitivista, a instrução ministrada pode ser traduzida em uma linguagem “*interna*”, código mental, ou representação de alguma coisa. Na visão de Karlgren e Ramberg (*apud ibid.*) não é significativo falar de qualquer linguagem “*interior*” isolada da linguagem social. O pensamento de um indivíduo é inerentemente interligado com a linguagem usada em um contexto específico. Mas isto não exclui o pensamento individual. De qualquer modo, palavras usadas em entrevistas, em instruções, em estudos, podem influenciar fortemente o raciocínio do sujeito.

A linguagem, segundo Flores e Winnograd (*op. cit.*), como domínio consensual, é uma modelagem de “*comportamento mutuamente orientador*” e não uma coleção de mecanismos numa “*linguagem de usuários*” ou um acoplamento “*romântico*” entre o comportamento lingüístico e as perturbações não lingüísticas experimentadas pelos organismos.

Maturana (*op. cit.*) diz que a linguagem é conotativa e não denotativa e que sua função é conduzir o orientado dentro de um domínio cognitivo, e não apontar entidades independentes. Um observador pode ver uma correspondência entre a linguagem e as entidades observadas. Mas, quando tenta-se compreender a linguagem puramente sob o domínio cognitivo, não se percebe o seu papel de

orientador de conduta e pode-se fazer suposições inadequadas a respeito das necessidades e da natureza da referência.

A função básica da linguagem como sistema orientador do comportamento não é a transmissão de informação ou a descrição de um universo independente a respeito do qual se pode falar, mas a criação de um domínio consensual de conduta entre sistemas, que interatuam lingüisticamente através do desenvolvimento de um domínio cooperativo de interações (Maturana, 1978, p. 50).

O papel de “escuta”, ao gerar o significado de uma expressão, está estreitamente relacionado com a explicação dos domínios consensuais.

2.1.4. O observador e a descrição

Ao usar a linguagem, não se transmite apenas informação nem se descreve um universo externo; cria-se um domínio cooperativo de interações. O próprio uso da linguagem leva, possivelmente, a uma pré-compreensão equívoca (Flores, Winograd, 1989, p. 81).

Maturana (Zeleni, 1991, p. 109) vê a percepção como uma operação de distinção, produzindo comunicação de coerências operacionais pertinentes a um mundo de ações coordenadas. Tais coordenações tomam lugar e são distintas na linguagem. A linguagem é, então, uma coordenação consensual (conversacional⁹) de coordenações consensuais (individual) de ações.

Existe uma visão ingênua, que toma a linguagem como meio de transporte de informações a respeito de uma realidade objetiva. As palavras e as frases referem-se a coisas, cuja existência é independente do ato de falar. A força do argumento de Maturana (*op. cit*) é que jamais se poderá ter conhecimento a respeito da realidade externa, pois pode-se até ter uma estrutura que reflita a história de interações de um meio, mas este meio não está formado de “coisas” reconhecíveis. Pode-se falar a respeito de um mundo, mas ao fazê-lo atua-se como “observador”. Um observador é um ser humano, um sistema vivo que pode fazer distinções específicas, que é capaz de distinguir-se como uma unidade... e é capaz de cooperar como se fosse externo (distinto de) às circunstâncias nas quais o próprio observador está incluído. *Tudo o que se diz se faz a partir de um observador para outro observador, que pode ser o próprio observador* (Maturana, 1978, p. 31). Os observadores geram distinções em um domínio consensual. Uma descrição em qualquer domínio (tanto em domínio dos objetivos e interações como sistemas físicos) é, inevitavelmente, uma afirmação feita por um observador a outro observador, e está referida não a uma realidade externa, mas a um domínio consensual compartilhado pelos observadores. As propriedades das coisas (de fato, o reconhecimento

de coisas distintas) existem, somente, como distinções operacionais em um domínio de distinções, especificadas por um observador. Quando se fala a respeito de sistemas e seu meio, componentes ou trocas estruturais, fala-se como se fossem coisas e propriedades externas. Este é um resultado que não pode ser evitado na utilização da linguagem, mas é sempre um dizer “*como se*” e não uma apelação ontológica¹⁰.

A idéia de que todas as distinções cognitivas sejam geradas por um observador (e relativas à natureza do observador) não é nova para Maturana. Köhler (*apud* Good, Brophy, 1997, p. 158), na sua obra clássica sobre a Psicologia Gestalt (*apud* Woolfolk, 1996, p. 275), argumentava que os fenômenos (isto é, o modo como o mundo se apresenta a si mesmo ao observador ingênuo nas interações cotidianas) não são objetivos ou subjetivos em virtude de que nasçam de fatos internos ou externos, já que todos os eventos reconhecíveis são num sentido, internos (resultantes de experiências internas e de eventos neurofisiológicos).

Trabalhos mais recentes em Teoria de Sistemas e em Cibernética como os de Pask e Von Forester (*apud* Flores, Winograd, 1989) desafiam também a aceitação popular dos modos de interpretação que assumem a objetividade da observação. O que é diferente e genial no trabalho de Maturana é o reconhecimento de que as distinções caem num domínio consensual, isto é, que pressupõem algum tipo de interação social na qual se incorpora o observador: para Maturana (1970), no domínio lingüístico, como domínio orientador da conduta, são necessários ao menos dois organismos interagentes (com domínios de interações comparáveis), de tal modo que seja possível desenvolver um sistema cooperativo de interações consensuais, em que a conduta emergente dos dois organismos seja relevante para ambos... O eixo central da existência humana é sua ocorrência num domínio lingüístico cognitivo. Este domínio é socialmente constituído.

Ao rechaçar a possibilidade de conhecimento objetivo, independente do sujeito, Maturana (*op. cit*) não adota a *posição solipsista de que o discurso pode ser, em última instância, somente reflexo dos pensamentos e sentimentos subjetivos*. Em virtude de ser um discurso, este fica

⁹ Conversação é a unidade mínima de interação social orientada para a execução com êxito de ações (Flores, 1996, p. 24).

¹⁰ Três definições simples de ontologia:

- Parte da filosofia que trata do ser enquanto ser.
- Em IA, é definida como *uma representação explícita de conceitualização* (Gruber, 1992).
- Na comunidade dos Sistema Baseados em Conhecimento, é definida como *o sistema primitivo de conceito/vocabulário usado para construir sistemas artificiais* (Mizogushi, Sintsu, Ikeda, 1996, p. 1). As definições básicas que clarificam as diferenças entre taxonomia, terminologia, vocabulário, ontologia, axiomas de explanação e axiomas-equivalentes podem ser revisadas em Mizogushi, Sinita e Ikeda (*op. cit.* p. 3).

num domínio consensual, domínio que existe para uma comunidade social¹¹. A realidade não é objetiva, mas também não é individual.

Maturana enfatiza novamente sua continuidade com outros fenômenos da cognição, mas quer vê-la como uma capacidade fundamentalmente diferente. Ele vê a consciência como fato gerado através da operação do domínio consensual, onde é gerada a linguagem, (compartilhada, não privada) prévia ao pensamento consciente.

2.1.5. Linguagem, escuta e compromisso

Segundo Searle (1995, p. 47), *os casos mais simples de significação são aqueles em que o falante emite uma sentença e quer significar exata e literalmente o que diz*. Nesses casos, o falante tem a intenção de produzir um certo efeito ilocucionário no ouvinte, e tem a intenção de produzir esse efeito levando o ouvinte a reconhecer sua intenção de produzi-lo, em virtude do conhecimento que o ouvinte tem das regras que governam a emissão da sentença. Notoriamente, nem todos os casos de significação são tão simples: em alusões, insinuações, ironias e metáforas – para mencionar uns poucos exemplos – a significação da emissão do falante e a significação da sentença divergem sob vários aspectos. Uma classe importante de casos acontece quando o falante emite uma sentença que significa o que diz, mas também algo mais.

O problema levantado pelos atos de fala indiretos é o de saber como é possível para o falante dizer uma coisa, querer significá-la, mas também querer significar algo mais. E já que a significação consiste, em parte, na intenção de produzir no ouvinte a compreensão, grande parte desse problema é saber como é possível para o ouvinte compreender o ato de fala indireta quando a sentença que ouve e compreende significa algo mais (*op. cit.* p. 48).

A existência do discurso ficcional levanta um problema de difícil solução. Pode ser colocado na forma de paradoxo: como é possível que as palavras e outros elementos tenham, numa história de ficção, seus significados ordinários e, ao mesmo tempo, regras associadas a essas palavras e outros elementos e que regras que determinam seus significados não sejam cumpridas? (*op. cit.* p. 95).

¹¹Para Maturana (1974): “... as diferenças culturais não representam diferentes modos de tratar a mesma realidade objetiva, porém legitimam diferentes domínios cognitivos. Homens culturalmente diferentes vivem em diferentes realidades cognitivas que se evidenciam recursivamente através da própria vivência... A questão do solipsismo surge unicamente como um pseudo problema, ou não surge em nenhum caso. A condição necessária para nossa possibilidade de falar a respeito deles é ter a disponibilidade de uma linguagem que seja um sistema consensual de interações em um domínio cognitivo dependente do sujeito, condição que constitui negação do solipsismo”.

A existência de emissões em que o falante quer significar metaforicamente algo diferente do que a sentença significa literalmente, coloca uma série de questões para qualquer teoria da linguagem e da comunicação (*ibid.* p. 123): o que é a metáfora e como ela difere das emissões literais e das outras formas de emissões figuradas? Por que se usa metaforicamente algumas expressões em vez de se dizer exata e literalmente o que queremos significar? Como funcionam as emissões metafóricas, isto é, como é possível para os falantes comunicarem algo aos ouvintes falando metaforicamente, uma vez que não dizem o que querem significar? E por que algumas metáforas funcionam e outras não?.

Segundo Searle (*op. cit.*, 1995), as sentenças têm significado literal, que está determinado por completo pelo significado das palavras (ou morfemas) componentes e pelas regras sintáticas da língua. Uma sentença pode ter mais de um significado literal (ambigüidade) e seu significado literal pode ser defectivo ou não-interpretativo (contra-senso).

O significado literal de uma sentença pode ser distinto da intenção do falante ao realizar um ato de fala, pois o significado literal e a intenção podem divergir de várias maneiras. Por exemplo, ao emitir uma sentença, o falante pode querer significar alguma coisa diferente, como no caso da metáfora; pode mesmo querer significar o oposto do que a sentença significa, como no caso da ironia; ou pode querer significar o que a sentença significa, mas também alguma coisa mais, como no caso das implicações conversacionais e dos atos de fala indiretos. É claro que o significado da sentença e a intenção podem coincidir exatamente. Estritamente falando, a expressão “literal” na expressão “significado literal da sentença” é pleonástica, já que todos os outros tipos de significado – significado irônico, significado metafórico, atos de fala indiretos e implicações conversacionais – absolutamente não são propriedades das sentenças, mas sim dos falantes, das emissões das sentenças.

O significado literal da sentença é o significado que ela tem independentemente de qualquer contexto e, exceto no caso de mudanças diacrônicas (mudanças na linguagem ao longo do tempo), ela conserva esse significado mantido em qualquer contexto em que seja emitida.

As aproximações analíticas formais, baseadas no significado literal, tomam freqüentemente como modelo a linguagem das matemáticas, onde a verdade de uma afirmação pode determinar-se sem referência ao contexto ou situação anteriores (Flores, Winograd, 1989, p. 89).

Mas, na linguagem real, raramente se faz uma afirmação que não possa ser construída com um significado literal não intencional. É impossível estabelecer uma base independente do contexto, para delimitar o uso literal de um termo, mesmo simples, como por exemplo, água.

É essencial dar-se conta de que “verdadeiro” e “falso”, assim como “livre” e “preso” não favorecem a simplicidade, se não numa dimensão geral de dizer algo correto ou adequado em

oposição a algo equivocado, em tais circunstâncias, propósitos e intenções e em tal audiência (Austin *apud ibid.*).

Para uma classe ampla de sentenças não ambíguas, a noção de significado literal só tem aplicação quando se refere a um conjunto de suposições subentendidas, que quando variam, determinam também as condições de verdade da sentença. Estas variações não têm relação com a indicação, a mudança de significado, a ambigüidade, a implicação convencional, a presunção ou a pressuposição, já que estas noções se discutem de modo normal na literatura lingüística e filosófica (Searle *apud ibid.*)

Ao falar de “*um conjunto de suposições subentendidas*”, Searle (*apud ibid.*) sugere que o subentendido pode ser tomado em conta, agregando o conjunto apropriado de proposições adicionais à descrição semântica formal. O subentendido constitui o espaço de possibilidades que permite escutar, tanto o que se fala como o que não se diz. O significado é criado mediante a escuta ativa, onde a forma lingüística desencadeia a interpretação que transporta a informação. O subentendido não é um conjunto de proposições, mas o resultado da orientação básica de “*cuidado*” com o mundo externo.

Para Heidegger (*apud* Flores, 1996, p. 23), o mundo encontra-se como algo que já vivia, olhava e atuava desde sempre. O mundo como subentendido de obviedade manifesta-se em nosso trato diário como a familiaridade que penetra nossa situação e cada expressão possível o pressupõe. A escuta de nossas possibilidades num mundo em que habitamos nos permite falar e atrair a cooperação dos outros. Aquilo que não é obvio faz-se manifesto por meio da linguagem.

2.1.6. Significado, compromisso e atos lingüísticos

Searle (1995), tendo proposto o problema da significação, volta-se para a estrutura dos atos da linguagem. Ao fazê-lo, aponta para a teoria dos atos de fala, como desenvolvida por Austin (*apud* Flores, Winograd, p. 91), que estudou uma classe de expressões (que denominava “*realizativas*”) que não se referem aos estados do mundo, mas que em si mesmos constituem atos, tais como prometer, ameaçar ou nomear. Argumentava que a visão aceita, geralmente, da certeza ou falsidade das proposições não era aplicável a muitos destes atos de fala.

Searle (1995), discípulo de Austin, formaliza a estrutura das condições de ocorrência oportunas associadas a uma diversidade de atos de fala, tais como promessa e petição. Este autor

classifica todos os atos da fala de maneira que correspondam a um dos cinco pontos da ilocução¹².

Estas categorias¹³ contêm todas as expressões; não só sentenças com verbos explicitamente “*realizativos*” tais como “*eu prometo*”... ou “*eu declaro*”. Por exemplo, pode-se falar que um ato de fala é uma promessa, mesmo quando sua forma é uma afirmação simples como “*eu estarei lá*”.

Searle distingue o ponto de ilocução de uma expressão, sua força de ilocução e seu conteúdo proposicional. O ponto de ilocução é uma das cinco categorias mencionadas anteriormente. Dois atos de fala ou lingüísticos (tais como uma pergunta cortês e uma demanda de informação) podem diferir em sua força de ilocução (modo e grau) enquanto tenham o mesmo ponto de ilocução (neste caso como diretivo).

Todos os atos ilocutórios possuem um caráter auto-implicativo, e além deles, Searle realça a importância dos atos perlocutórios como, por exemplo, “*alarmar*” (diferente de “*advertir*”, ilocutório), por terem uma relação direta com os resultados (com efeitos) produzidos pela comunicação (considerada sua causa). A principal diferença entre ilocução e perlocução está na presença (na ilocução) do reconhecimento por parte do interlocutor de uma intenção que o locutor parece possuir ao produzir tal ato, havendo assim uma certa convergência com o pensamento de Husserl expresso nas Investigações Lógicas, porquanto aproxima a ordem da significação de um plano de intencionalidade. Contudo, Searle (*apud ibid.*) distingue claramente a intenção da intencionalidade, caracterizando a primeira como uma propriedade da consciência do sujeito cognoscente e a segunda como uma propriedade das proposições da linguagem. Assim, os “*objetos intencionais*” não são uma classe de

¹²Searle com a obra *Atos de fala (Speech Acts, 1969)* inicia o estudo das formas e tipos de relações possíveis entre comunicantes. Um ato de fala (*speech-act*) é um ato de discurso completo, constituído por um elemento proposicional (ou “locutório”) que é o próprio ato de dizer, por um elemento “ilocutório”, que é o que se faz ao falar (asserção, promessa, ordem...), e por um elemento “perlocutorio”, que é o que se produz pelo fato de falar (intimidar, amedrontar, estimular...). Nesta primeira obra, Searle propõe ainda uma classificação das regras que regem os atos de linguagem (regras de conteúdo proposicional, preliminares, de sinceridade e essenciais).

¹³As cinco categorias do ponto de ilocução são (Flores, 1996, p. 25):

- Assertivas: comprometem o orador (em graus diversos) com algo que afeta a verdade da proposição expressa (ex. “Pedro estuda”).
- Diretivas: tentam (em grau variável) forçar o ouvinte que faça alguma coisa. Estas incluem tanto perguntas (podem se dirigir ao ouvinte para que responda com um ato de fala assertiva) como comandos (tentam levar o ouvinte a realizar algum ato, lingüístico ou não), ex. “levante-se”.
- Comissivos: comprometem o orador (de novo em grau variável) com algum tipo de ação futura, ex. “hei de voltar”.
- Expressivos: expressam um estado psicológico acerca de um estado de coisas. Esta classe inclui atos tais como desculpar-se ou elogiar, ex. “*que bela obra*”.
- Declarativos: estabelecem uma correspondência entre o conteúdo proposicional do ato de fala e a realidade, ex. “*é culpado*”, (afirmação do juiz).

objetos com um estatuto ontológico diferente ou mesmo superior ao dos “*objetos descritos*”, manifestando-se a recusa de qualquer ontologia, mesmo que apenas formal.

A importância essencial do ponto de ilocução é a especificação do significado em termos de modelos de compromisso introduzidos pelo orador e o ouvinte durante a conversação. A taxonomia classifica as possibilidades através das quais o orador possa expressar-se. Não é um conjunto de convenções culturais tais como as que governam o comportamento cortês; baseia-se no conjunto subjacente de possibilidades pelas quais se podem relacionar as palavras com o mundo. Cada cultura ou língua pode ter suas vias exclusivas de expressar os diferentes atos de fala, mas o espaço de possibilidades é a base universal de nossa existência na linguagem.

A parte central do compromisso, na teoria do ato de fala, foi apresentada de modo particularmente clara por Habermas, ao discutir o que se chama de “*pretensões de validade*” de uma expressão:

Para Habermas (Flores, Winograd, 1989, p. 61):

a pressuposição essencial para o êxito de um ato de ilocução consiste em que o orador entre em um compromisso específico, de tal modo que o ouvinte conte com ele. Uma expressão pode contar como promessa, asserção, petição, pergunta ou manifestação, somente se o orador faz uma proposta para a qual está pronto, enquanto seja aceita pelo ouvinte. O orador deve comprometer-se, isto é, deve indicar que em certas situações, ele tomará certas conseqüências para a ação.

Habermas (*apud ibid.*) argumenta que cada ato de linguagem tem conseqüências para os participantes, conduzindo a outros compromissos para ações futuras. Ao pronunciar um enunciado, um orador que está fazendo algo como uma promessa, se compromete a atuar de modo adequado no futuro. Naturalmente, uma asseveração possui um tipo diferente de condição de satisfação de uma promessa. Não se antecipa nenhuma ação específica, mas existe uma estrutura de diálogo potencial.

A teoria do ato de fala reconhece a importância do compromisso e é o primeiro passo para tratar mais adequadamente o significado. Mas tal como foi descrito até agora, não sai fora da contradição racionalista. Boa parte do trabalho sobre os atos de fala tentam entender, mais que rejeitar, a noção de que o significado de uma expressão pode ser descrita em termos de condições estabelecidas independentemente do contexto. Por exemplo, ao especificar com precisão as “*condições de sinceridade*” necessárias para um ato de promessa, deve-se referir aos estados intencionais¹⁴ do orador (p. ex. o orador acredita que é possível fazer o ato prometido e tenta fazê-lo). Ao estender explicações de condições de verdade para induzir estados mentais, trata-se, todavia, de condições de significado

adequado como se estas fossem um estado de coisas objetivo. Ao tentar entender como se compartilha o significado, deve-se voltar a visão para a dimensão social, mais que para a mental.

Por outro lado, algumas teorias da crítica contemporânea afirmam que a *única leitura confiável de um texto é uma leitura equivocada, que a existência de um texto só é dada pela cadeia de respostas que evoca e que, como Todorov (1987) sugeriu maliciosamente, um texto é apenas um piquenique onde o autor entra com as palavras e os leitores com o sentido* (Eco, 1993, p. 28).

Com relação aos textos e à construção de significado, a série de teorias a respeito da emergência do significado na relação entre o leitor e o texto podem ser ilustradas como uma continuação entre duas posições, respectivamente extremas, isto é, as que determinam o significado e as decorrentes de uma interpretação completamente “aberta”, como segue:

- objetivista : significado inteiramente no texto (*‘transmitido’*);
- constructivista: significado na interação entre o texto e o leitor (*‘negociado’*).
- subjetivista: significado inteiramente na interpretação pelos leitores (*‘recriados’*).

Alguns teóricos defendem posições que não coincidem com essas teorias; como por exemplo:

- nas teorias “*formalistas*”, o significado reside no texto. Para Olson (*apud* Chandler, 1995, p. 1) e outros “*formalistas*”, o significado de um texto está contido no texto, e pode ser extraído pelo leitor. Tal modelo de comunicação é “*transmissiva*”: o significado é visto como algo que pode ser “*transmitido*” por um “*emissor*” para um “*receptor*” passivo.

- na teoria do diálogo, o significado é um processo de negociação entre escritores e leitores (Holquist *apud* *ibid.*). (esta teoria é também referida como “*construcionista*”, “*construtivista*”, “*social-interativa*” ou modelo de “*diálogo*”). Aqueles que enfatizam a negociação do significado, argumentam que os significados de um texto não são nem completamente predeterminados nem completamente abertos, mas sujeitos a certas coações. Alguns críticos se referem às influências na construção do significado, tais como “*leitura preferida*” –a qual deve ser representada no texto como “*um leitor inscrito*” ou pode emergir de uma “*comunidade interpretativa*”–. Leitores individuais também devem aceitar, modificar, ignorar ou rejeitar tais leituras preferidas, de acordo com sua experiência, atitudes e propósitos. (Este conjunto de aspectos de atitudes com respeito à construção de significado, com textos paralelos que relatam a natureza da realidade, abarcam do objetivismo via intersubjetividade, até o subjetivismo).

¹⁴ Ver Ponto “2.1.7 Intencionalidade”, deste trabalho.

Considera-se que um texto não pode falar por si mesmo: precisa tanto de um leitor, como de um escritor. Trabalhos de pesquisa em psicologia cognitiva e psicolinguística têm enfatizado a atividade criativa do leitor. Os psicólogos cognitivos explicam o ato interpretativo de ler em termos de “teoria de esquema”. A noção de ‘esquema’ (ou esquemas) deriva do trabalho do psicólogo britânico Bartlett (*apud* Good, Brophy, 1997, p. 178), que em seu clássico *Remembering*, definiu como uma organização ativa de reações ou experiências passadas. Bartlett explicou a memória como um processo criativo de reconstrução, fazendo uso de tais esquemas. De acordo com a teoria contemporânea de esquemas; percepção, compreensão, interpretação e memória são mediadas por esquemas mentais - estruturas hierárquicas (ou “frames” para a organização do conhecimento). No caso da leitura, os esquemas provêm *frameworks* mentais que ajudam o leitor a ir segundo a frase de Jerome Bruner, “além da informação dada”. Mesmo a maioria dos textos ordinários requerem ir além do que está explicitamente exposto, em função do sentido, embora as pessoas normalmente ignorem a extensão de tal interpretação na leitura cotidiana. Os leitores usam, adicionalmente, diferentes repertórios ou esquemas, em parte como um resultado de repertório das diferenças transitórias, relativas a pontos de vista (ex. propósitos). Para leitores experientes, ler é um processo contínuo de fazer inferências, avaliação da validade e significação de textos, relacionado-os com experiências prévias, conhecimentos, pontos de vista e implicações. Tais considerações não sugerem, de maneira nenhuma, que um texto signifique o que o leitor espera, mas simplesmente que esse leitor deve fazer uso ativo de esquemas para dar sentido ao texto, e diferentes leitores devem usar diferentes esquemas, podendo variar suas interpretações. *Ler não é uma “recuperação passiva de informação” e um texto não tem um significado simples que não muda* (Chandler, 1995, p. 2).

• outra influência em modelos de construção de significado com texto é o “*criticismo leitura-resposta*” em teoria literária. Fisch¹⁵ (*apud ibid.*) argumentou a respeito da importância, fundamental, da interpretação de texto pelos leitores: *um texto não é um texto fora do leitor e seu contexto*. Ele enfatizou a construção de significado como um processo, não de “*extração*” de “*conteúdo*”, mas limitado a um intervalo de significações, enfatizando a importância de “*comunidades interpretativas*”.

De fato, o envolvimento do leitor na construção do significado depende, em parte, da classe de texto. Alguns textos são mais “*abertos*” que outros. Deve-se esperar, por exemplo, uma interpretação mais ativa do leitor envolvido com um poema, que do leitor envolvido com um diretório de telefone. Olson (*apud ibid.*, p. 2) argumentou que em textos formais científicos e filosóficos, “*o significado está no texto antes que em sua interpretação*”, mas (alguns de fato devem ver isto como uma meta) a interpretação do significado textual nunca pode ser rígida. Em seu famoso livro *S/Z*,

Barthes (*apud ibid.*) refere-se as duas classes de escrita quanto à extensão em que envolvem o leitor: a “*legível*” (*lisible*) e a “*descritível*” (*scriptible*). Textos da classe *lisible* deixam o leitor “*com uma pobre liberdade de aceitar ou rejeitar o texto*” (Hawkes, 1977): tratam o escritor como produtor e o leitor como consumidor submisso e sugerem sua “*reflexão*” do “*mundo real*”. Textos da classe “*scriptible*” convidam à ativa participação do leitor, e também, sua atenção na mediação lingüística, em um envolvimento na construção de realidade. Ironicamente, os textos “*lisible*” são descritos como “*legíveis*”, enquanto os textos “*scriptible*” são freqüentemente referenciados como “*não legíveis*”, por que eles requerem maior esforço.

O grau de envolvimento do leitor depende não somente do tipo de texto, mas de quanto “*lisible*” ou “*scriptible*” este pode ser, e também de como o texto é usado, que de acordo com a experiência, fica inteiramente a critério do leitor. Esses propósitos não são estáticos: os leitores retornam ao texto e estabelecem ligeiras diferenças de significação com este em cada ocasião. Pode-se dizer que: *o texto lido por uma pessoa pode (ele mesmo) ser interpretado de muitas maneiras, de acordo com os propósitos dos leitores* (Chandler, 1995, p. 4).

2.1.7. Intencionalidade

Um modo de resumir a explicação da intencionalidade, na versão que Searle (1995, p. 74) utiliza, é a apresentação do quadro comparativo 01 das características formais dos vários tipos de intencionalidade, como: a crença, o desejo e a percepção visual. Searle acrescenta a lembrança de acontecimentos do passado, uma vez que esta compartilha algumas características da percepção visual (tal como ver, lembrar e auto-referir) e algumas das crenças¹⁶ (tal como crer, lembrar é mais uma representação que uma apresentação).

Os verbos “*ver*” e “*lembrar*”, diferentemente dos verbos “*desejar*” e “*crer*”, implicam não apenas a presença de um conteúdo intencional, mas também que esse conteúdo seja satisfeito. Se uma pessoa vê um estado de coisas, condição de satisfação da experiência visual, deve haver algo mais que a experiência visual da pessoa; deve existir e deve causar a experiência. E se, realmente, uma pessoa lembra de algum acontecimento, este deve ter ocorrido e isto deve evocar a lembrança da pessoa.

Tem-se a inclinação de considerar que as percepções, puras e imaculadas, chegam às pessoas pela linguagem, e são rotulados através de definições ostensivas, os resultados dos encontros perceptivos. Tal imagem, no entanto, é falsa sob vários aspectos.

¹⁵Escreveu um livro muito influente, “*Is There a Text in This Class?*”.

¹⁶Cuja modelagem baseada em agentes, é abordada no ponto “6.2.2 Arquitetura SEM”, deste trabalho.

Em primeiro lugar, a percepção é uma função da expectativa e pelo menos as expectativas dos seres humanos costumam ser, normalmente, realizadas lingüisticamente. Portanto, a própria linguagem afeta o encontro perceptivo (*ibid.*, p. 76).

Quadro 01: Uma comparação entre algumas das características formais da intencionalidade de ver, crer, desejar e lembrar

	Ver	Crer	Desejar	Lembrar
Natureza do componente intencional	Experiência visual	Crença	Desejo	Memória
Apresentação ou representação	Apresentação	Representação	Representação	Representação
Casualmente autoreferente	Sim	Não	não	Sim
Direção de ajuste	Mente-mundo	Mente-mundo	Mundo-mente	mente-mundo
Direção de causação Tal como determinada pelo conteúdo Intencional	Mundo-mente	Nenhuma	Nenhuma	mundo-mente

Fonte : Searle (1995, p. 75).

Em segundo lugar – e mais importante, segundo Searle (*op. cit.*) – muitas das experiências visuais sequer são possíveis sem o domínio de certas capacidades de sustentação, entre as que figuram, com destaque, as lingüísticas. Um certo domínio conceitual constitui uma pré-condição para que se tenha uma experiência visual; e tais casos sugerem que a Intencionalidade da percepção visual esteja atada, de diversas maneiras, a outras formas de Intencionalidade, tais como a crença e a expectativa, e também com nossos sistemas de representação, sobretudo a linguagem. Tanto a rede de estados intencionais como o ‘*pano de fundo*’ (*background*) das capacidades mentais não-representacionais afetam a percepção.

Mas se a Rede e este ‘*pano de fundo*’ afetam a percepção, como podem as condições de satisfação serem determinadas pela experiência visual? Há pelo menos três casos a seguir que precisam ser discutidos:

- os casos em que a rede de crenças e o “*Background*” afetam efetivamente o conteúdo da experiência visual (ex. olhar para frente de uma casa quando se considera tratar-se da frente de uma casa e olhar para frente de uma casa quando se considera tratar-se de uma mera fachada, como por exemplo, parte de um cenário cinematográfico). *Crenças diferentes ocasionam experiências visuais diferentes com diferentes condições de satisfação, mesmo dados os mesmos estímulos visuais* (*ibid.*, p. 80).

mente

- quando o conteúdo da crença é de fato incompatível com o conteúdo da experiência visual (ex. quando se vê a lua no horizonte, parece maior que quando está no centro do céu). *As mesmas crenças coexistem com diferentes experiências visuais, com diferentes condições de satisfação, embora o conteúdo das experiências seja incompatível com o das crenças e estas se sobreponham àquele (ibid., p. 80).*

- quando as experiências visuais são diferentes, mas as condições de satisfação são as mesmas (ex. ver um triângulo primeiro com um ponto no ápice e depois com outro ponto na mesma posição). *As mesmas crenças, somadas a experiências visuais diferentes, produzem as mesmas condições de satisfação das experiências visuais (ibid., p. 80).*

Nestes dois últimos exemplos não se tem a menor inclinação a pensar que qualquer coisa é diferente no mundo real correspondente às diferenças das experiências.

Existem, portanto, diversos modos pelos quais a Rede e o *Background* da intencionalidade estão relacionados ao caráter da experiência visual, e tal caráter está relacionado às suas condições de satisfação.

A abordagem de intencionalidade argumentada por Searle é absolutamente naturalista: o autor pensa nos estados, processos e eventos intencionais como parte da história da vida biológica da unidade autopoietica humana, do mesmo modo como a digestão, o crescimento e a secreção de bílis fazem parte da história da vida biológica. De um ponto de vista evolucionário, da mesma forma como há uma ordem de prioridade no desenvolvimento de outros processos biológicos, há uma ordem de prioridade no desenvolvimento dos fenômenos intencionais. Nesse desenvolvimento, a linguagem e o significado, ao menos no sentido que lhes é atribuído pelos seres humanos, surgiram bem tardiamente. Muitas espécies além da humana têm crenças, desejos e intenções, mas muito poucas espécies, talvez apenas a humana, têm uma forma de intencionalidade não só peculiar, como também biologicamente baseada, que é associada à linguagem e ao significado.

A intencionalidade difere de outros tipos de fenômenos biológicos por ter uma estrutura lógica e, assim como há prioridades evolucionárias, há também prioridades lógicas. Uma consequência natural da abordagem biológica advogada é considerar o significado, no sentido em que os falantes significam alguma coisa por suas emissões, como um desenvolvimento especial de formas mais primitivas de intencionalidade.

A capacidade dos atos de fala para representar objetos e estados de coisas no mundo é uma extensão das capacidades mais biologicamente fundamentais da mente (ou do cérebro) para relacionar o organismo ao mundo por meio de estados mentais como crença e desejo, em especial através da ação e da percepção. Contudo, alguns embaraços apresentam-se quando se reflete sobre as

seguintes considerações (*ibid.*, p. 321): *os objetos não são dados anteriormente ao sistema de representação; o que é tido como um único ou mesmo objeto é função do modo como dividimos o mundo.* O mundo não chega às unidades autopoieticas dividido já em objetos; compete a cada unidade dividi-lo; e o modo como é dividido é de competência do sistema de representação e, nesse sentido, é de sua competência, ainda que se trate de um sistema biológico, cultural ou lingüisticamente configurado. Ademais, para que alguém possa atribuir um nome a determinado objeto ou saber que determinado nome é o nome de tal objeto, é necessário que a unidade disponha de alguma outra representação daquele objeto, independentemente da simples posse do nome.

Dado que os objetos de conhecimento não são dados e fixados a priori, mas repetidamente levados adiante via operação de distinção humana, suas fronteiras não são definidas. conseqüentemente, a linguagem usada para coordenar ações derivadas do conhecimento deve aparecer como “*imprecisa e difusa*” sob qualquer que seja a perspectiva de processamento de informação. Em realidade, a linguagem difusa é não somente adequada, efetiva e “precisa” para os propósitos de ação e coordenação, mas necessária (Zeleny, 1991., p. 110).

O conhecimento para o observador é a distinção de “objetos” (conjuntos ou unidades) através das quais produz comunicação da experiência a um conjunto coerente e auto-consistente de ações coordenadas (*ibid.*, p. 109). Através da operação (ou processo de distinção), peças de dados e informações individuais (componentes, conceitos) ficam conectadas com os outros (ex. organizados) em uma rede de relações. O conhecimento está contido em um padrão organizacional global da rede e não de alguns componentes separados (não em uma simples agregação ou coleção). Assim, a rede de relações emergentes, em vez de determinar o que e como adicionar componentes, é levada adiante (“*produzida*”, interpretada), a partir do *background*. A organização da rede é necessariamente circular (organizacionalmente fechada), auto-mantida e auto-produzida. Estes componentes são sujeitos a perturbações estruturais externas (e internas) e “*excitam*” ou “*inibem*” os outros de uma maneira simultânea ou paralela (Rumelhart, Zeleny *apud* Zeleny, 1991).

Portanto, *o conhecimento é um sistema autopoietico (auto-produzido)* (Zeleny, *op.cit.*, p. 109).

Uma vez que os atos de fala são um tipo de ação humana e a capacidade da fala para representar objetos e estados de coisas faz parte de uma capacidade mais geral da mente para relacionar o organismo ao mundo, qualquer explicação completa da fala e da linguagem exige uma explicação de como a mente/cérebro relaciona o organismo com a realidade. Porém, sejam quais forem os princípios para fornecer uma interpretação adequada do cérebro, terão de reconhecer a realidade da intencionalidade do cérebro e explicar suas capacidades *causais* (Kripke, Donnellan *apud* Searle *op. cit.*, p. 325).

2.2. Desenvolvimento humano.

Neste ponto será realizada uma análise dos princípios gerais do desenvolvimento humano. Serão examinadas também as idéias dos grandes teóricos do desenvolvimento cognitivo de maior influência, a saber, Jean Piaget e Lev Vigotsky.

2.2.1. Desenvolvimento.

No sentido psicológico mais geral, o termo *desenvolvimento* refere-se a certas mudanças que ocorrem nos seres humanos (ou animais) desde a concepção até a morte. O termo não se aplica a todas as mudanças, mas àquelas que se dão de forma ordenada e permanecem por um período de tempo razoável. Entretanto, uma mudança temporal, como resultado de uma enfermidade breve não é considerada como parte do desenvolvimento. Alguns psicólogos sugerem os tipos de mudanças que podem ser qualificadas como desenvolvimento: *as mudanças, pelo menos as que acontecem no começo da vida, são para o bem e resultam em uma conduta mais adaptativa, organizada, efetiva e complexa* (Mussen, Conger, Kagan *apud* Woolfolk, 1996, p. 26).

Os psicólogos discutem três aspectos destas mudanças (Good, Brophy, 1997, p. 27): *seqüência*, a ordem em que ocorrem as mudanças; *ritmo*, a velocidade com que ocorrem as mudanças, e *forma*, aspecto ou aparência da entidade que se desenvolve em qualquer ponto do tempo.

Pode-se dividir o desenvolvimento humano em vários aspectos (Woolfolk, 1996, p. 26): *físico*, referente às mudanças corporais; *pessoal*, o termo que geralmente se utiliza para referir-se às mudanças da personalidade de um indivíduo; *social*, referente às formas de inter-relacionamento entre os indivíduos¹⁷; *cognitivo*, referente às mudanças ocorridas no pensamento.

É útil distinguir crescimento e desenvolvimento quando se analisam mudanças físicas. Crescimento refere-se a incrementos em estatura, peso e tamanho físico. *Desenvolvimento é um termo que pode referir-se tanto à mente e às emoções, quanto ao corpo, é uma progressão ordenada em níveis cada vez mais altos, tanto de diferenciação como de integração dos componentes de um sistema* (Good, Brophy, 1997, p. 27).

Muitas mudanças ocorridas durante o desenvolvimento são somente resultado do crescimento e do amadurecimento, que referem-se às mudanças ocorridas de maneira natural e espontânea, em grande medida programadas a nível genético. Tais mudanças se apresentam com o tempo e a influência que o entorno tem sobre elas é relativamente baixa, com exceção dos casos de desnutrição ou enfermidades graves. Grande parte do desenvolvimento físico de uma pessoa cai nesta

¹⁷ Para Maturana “*acoplamento ontogênico estrutural*” (Maturana, 1978, p. 47).

categoria. Outras mudanças são consequência da aprendizagem¹⁸, adquirida na interação dos indivíduos com seu meio. Tais mudanças constituem uma grande parte do desenvolvimento social de uma pessoa. A maioria dos psicólogos concorda que, na área do desenvolvimento do pensamento e da personalidade, tanto o amadurecimento como a interação com o entorno (natural ou adquirido, como ocasionalmente são denominados) são importantes, mas difere a respeito da importância que deve ser atribuída a cada uma.

Além das controvérsias sobre os aspectos que compõem o desenvolvimento e o modo como acontecem, são poucos os princípios gerais que contam com o respaldo de quase todos os teóricos (Woolfolk, 1996, p. 26), a saber:

- as pessoas se desenvolvem com ritmos distintos;
- o desenvolvimento é relativamente ordenado;
- o desenvolvimento ocorre de forma gradual.

2.2.2. Desenvolvimento cognitivo.

O psicólogo Piaget idealizou um modelo que descreve como os humanos dão sentido ao seu mundo, extraindo e organizando informação. A seguir serão analisadas as teorias de Piaget, já que oferecem uma explicação do desenvolvimento do pensamento desde a infância até a idade adulta.

Para Piaget (Good, Brophy, 1997, p. 29), *os seres humanos nascem como processadores de informação ativos e exploratórios, e constroem o seu conhecimento em lugar de adquiri-lo já pronto em resposta à experiência ou à instrução*. Ele via os humanos em luta constante para adaptar-se ao seu ambiente, construir conhecimento que lhes permita perceber o significado e exercer o controle por meio de mecanismos adaptativos.

A maior parte da teoria e investigação de Piaget foi centrada na investigação das operações cognitivas implicadas no pensamento e na solução de problemas. O autor acreditava que estas operações cognitivas se desenvolviam originalmente como reconstruções mentais das operações conductuais que os bebês e as crianças construíam no processo de explorar o ambiente e solucionar os problemas que ali encontravam. *Freqüentemente se referia ao pensamento como ação internalizada* (Wood *apud* *ibid.*).

Como resultado de suas primeiras investigações sobre biologia, o autor concluiu em que *todas as espécies herdaram duas tendências básicas ou "funções invariáveis"*. *A primeira destas tendências é para a organização; combinar, ordenar, voltar a combinar e voltar a ordenar condutas*

¹⁸ Riqueza plástica do sistema nervoso (Maturana, Varela, 1992, p. 111).

e pensamentos em sistemas coerentes. A segunda tendência é para a adaptação ou ajuste ao entorno (Woolfolk, 1996, p. 30). A seguir, serão estudadas estas tendências:

- *organização*: As pessoas nascem com uma tendência a organizar seus processos de pensamento em estruturas psicológicas. Estas estruturas psicológicas são os sistemas para compreender e interagir com o mundo. As estruturas simples em forma contínua se combinam e coordenam para ser mais complexas e, como consequência, mais efetivas.

Piaget designou a estas estruturas de *esquemas*, que são os marcos de referência cognitiva, verbal e condutual que se desenvolvem para organizar a aprendizagem e para guiar o comportamento (Good, Brophy, 1997, p. 30). Com o desenvolvimento, o conhecimento a respeito do ambiente e a maneira de responder a ele é codificado e armazenado em forma de esquemas, que são aperfeiçoados de maneira contínua. É útil distinguir os diferentes tipos de esquemas:

- *sensoriomotores (perceptivos e condutuais)*: são formas pre-lógicas e intuitivas de conhecimento adquiridas na observação e manipulação do ambiente. Proporcionam a base para o desenvolvimento de habilidades tais como caminhar, etc.;

- *os esquemas cognitivos*: são conceitos, imagens e capacidades de pensamento tais como a compreensão das diferenças entre plantas e animais, a capacidade de imaginar um triângulo ou raciocínio de causas e efeitos;

- *os esquemas verbais*: significação de palavras e habilidades de comunicação tais como associação de nomes com seus referentes ou domínio da gramática e da sintaxe.

O desenvolvimento cognitivo ocorre não somente através da construção de novos esquemas, mas também, da diferenciação e integração dos esquemas existentes. Conforme o conhecimento se desenvolve em um domínio particular, os esquemas existentes se coordenam com outros mais complexos que integram construções inicialmente separadas.

A seqüência de aquisição de esquemas é universal, mas os ritmos com os quais se desenvolvem e as formas que adotam dependem das diferenças individuais na maturação, nas experiências ambientais, na aquisição de conhecimento por meio da interação social e fatores de equilíbrio únicos. O desenvolvimento de esquemas procede através de quatro períodos (etapas) qualitativamente distintos, como mostrado no quadro 02.

- *adaptação*: é o processo contínuo de interatuar com o ambiente e aprender a predizê-lo e controlá-lo (Good, Brophy, *op. cit.* p. 31). Na adaptação participam dois processos básicos a saber (Woolfolk, 1996, p. 31):

>A *assimilação* é o processo de se responder a uma situação de estímulo, utilizando-se os esquemas estabelecidos. Implica tratar de compreender algo novo acomodando-o ao que já se sabe (ibid, p. 31).

>A *acomodação* é a mudança na resposta diante do reconhecimento de que os esquemas existentes não são adequados para conseguir os propósitos atuais. Acontece quando a pessoa deve mudar esquemas existentes para responder a uma situação nova (Woolfolk, op. cit., p. 31). Se não se pode fazer que os dados se ajustem a nenhum esquema existente, então se devem desenvolver estruturas mais apropriadas. Ajusta-se o pensamento para adaptá-lo à informação nova, em vez de ajustar a informação para adaptá-la ao pensamento.

Quadro 02: Períodos e níveis para o pensamento infantil.

	Períodos	Idades ¹⁹	Características
Períodos preparatórios, pré-lógicos	Sensoriomotor	do nascimento Até 2 anos	Coordenação de movimentos físicos, pré-representacional e pré-verbal.
	Pré-operatório	de 2 a 7 anos	Habilidade para representar-se a ação mediante ao pensamento e à linguagem; pré-lógico.
Períodos avançados, pensamento lógico	Operações Concretas	de 7 a 11 anos	Pensamento lógico, mas limitado à realidade física.
	Operações Formais	de 11 a 15 anos	Pensamento lógico abstrato e ilimitado.

Fonte: Labinowicks (1987, p. 60).

Piaget viu o desenvolvimento de esquemas como universal, seqüencial, variável em ritmo e , de maneira considerável, em forma. As diferenças de ritmo e forma são atribuídas a quatro fatores, a saber (Good, Brophy, op. cit. p. 31): *maturação, experiência individual, interação social (socialização e educação formais e informais) e equilíbrio (autodireção e regulação internas)*.

- *Equilíbrio*. É a suposição motivacional básica de Piaget. Esta afirma que as pessoas lutam por manter um equilíbrio entre a assimilação e a acomodação conforme impõem ordem e significado às suas experiências (ibid.). A organização, a assimilação e a acomodação podem ser consideradas como uma espécie de ato complicado de equilíbrio . Nesta teoria, as mudanças reais ocorridas no pensamento acontecem através do processo de equilíbrio (Woolfolk, op. cit., p. 31) - o ato da procura de um equilíbrio -. Piaget supunha que as pessoas provavam de maneira contínua a suficiência dos seus processos de pensamento a fim de alcançar esse equilíbrio.

¹⁹ Os faixas etáreas indicadas no quadro representam médias atribuídas a crianças Suíças. Esperam-se alguns desvios a estas normas, tanto em casos individuais, quanto em grupos culturalmente diferentes.

De maneira breve, o processo de equilíbrio opera assim: caso seja aplicado um esquema particular a um evento ou situação e este funcionar, então haverá equilíbrio. Se o esquema não produzir um resultado satisfatório, então haverá desequilíbrio e a pessoa sentir-se-á incomodada. Isto motivará a busca de uma solução mediante a assimilação e acomodação e, portanto, o pensamento muda e progride. Com o objetivo de se manter um equilíbrio entre os esquemas para compreender o mundo e os dados que este proporciona, assimila-se continuamente nova informação, utilizando-se esquemas existentes e acomoda-se o pensamento. Sempre que as tentativas para assimilar sejam infrutuosas, o desequilíbrio será gerado.

A abordagem sugerida por Piaget para o estudo da equilíbrio dos sistemas cognitivos envolve três problemas centrais, a saber (Wazlawick, 1995, p. 6): *os tipos de equilíbrio, a razão dos desequilíbrios e os mecanismos dos reequilíbrios*.

Segundo Giusta (1985):

Piaget nega que sua teoria seja uma teoria de aprendizagem, classificando-a como uma teoria do desenvolvimento. Admite, porém, que ela possa ser vista também como uma teoria da aprendizagem, desde que esta tenha o seu conceito ampliado de maneira a incorporar os processos de equilibração, que são internos e não hereditários.

2.2.3. Pensamento e linguagem

O desenvolvimento da linguagem inclui aspectos tanto estruturais como funcionais. Os aspectos estruturais incluem conhecimento dos elementos das orações (gramática) e da forma de combinar estes elementos em seqüências, que constituem as exigências estruturais da linguagem (sintaxe). Os aspectos funcionais referem-se à capacidade de usar a linguagem para comunicar-se, pensar e resolver problemas. Diferentes fatores influem no desenvolvimento destes dois aspectos da linguagem.

De maneira tradicional, os teóricos da aprendizagem têm explicado o desenvolvimento da linguagem usando conceitos, tais como exposição (modelamento), repetição e reforço.

Chomsky (*apud* Good, Brophy, 1997, p. 61) e outros *nativistas* são teóricos que explicam as características ou capacidades, referindo-se à estrutura genética das espécies ou do indivíduo, em vez da aprendizagem adquirida através da experiência. Acreditam que a capacidade para gerar linguagem de acordo com regras gramaticais é inerente ao cérebro e às funções humanas, e não requer instrução ou reforço sistemáticos. Chomsky postulou um mecanismo inato de aquisição da linguagem que permite a todos os humanos apreender a linguagem simplesmente pela exposição a ela.

A linguagem também pode ser apreendida pela instrução sistemática, mas para Chomsky, esta não é a maneira típica.

É verdade que a linguagem e o pensamento interagem e que a linguagem pode influir no pensamento, embora não pareça certo a regra geral de que a linguagem estrutura o pensamento (Gelman, Byrnes, apud ibid. p. 63). Em vez disso, parece que as culturas centram sua atenção em certos aspectos do ambiente devido a sua importância para a adaptação ou para as tradições culturais (Moll apud ibid. p. 63).

É provável que a relação entre pensamento e linguagem tenha sido melhor expressada por Vigotsky (*apud* Woolfolk, *op. cit.*, p. 31). Este autor mostrou que *na etapa sensoriomotora e no início da etapa pré-operacional o pensamento e a linguagem se desenvolvem de maneira independente (apud* Good, Brophy, 1997, p. 63). O pensamento é pré-lingüístico e a linguagem é pré-intelectual. O pensamento, em sua maior parte, implica esquemas sensoriomotores e cognitivos não verbais. As crianças pensam, mas em formas intuitivas que não implicam muito o uso da linguagem. Portanto, a linguagem se desenvolve e funciona, principalmente, como uma forma de expressar necessidades pessoais, emoções, e sentimentos. A linguagem é usada como um meio de comunicação durante estes primeiros anos, mas não, ordinariamente, como expressão do pensamento.

Conforme as crianças começam a tornar-se operacionais, o pensamento e a linguagem se relacionam. As crianças tornam-se cada vez mais capazes de expressar pensamentos através da linguagem, de usar a linguagem para comunicar conceitos e de pensar e solucionar problemas de maneira verbal. Devido a isto, parece, também mudam de formas inferiores de resposta a problemas de transposição a formas superiores, e vencem as deficiências mediadoras e de produção. Em resumo, uma confluência de desenvolvimentos cria mudanças qualitativas nas estruturas cognitivas das crianças e nas formas como funcionam estas estruturas, especialmente em situações novas que requerem acomodação ou solução de problemas.

Vygotsky enfatizou muito mais que Piaget o papel da linguagem no desenvolvimento cognitivo. De fato, Vygotsky acreditava que a linguagem em forma de *discurso pessoal* (Woolfolk, *op. cit.*, p. 47) ou *discurso egocêntrico* (Good, Brophy, 1997, p. 65) guia o desenvolvimento cognitivo.

Os resultados de muitos estudos sugerem que o discurso egocêntrico é funcional e que as mudanças que ocorrem nele, conforme a criança se torna operacional, são parte do processo de vinculação do pensamento à linguagem (Diaz, Berk; Frauenglass, Diaz; Wesrtsch; Zivin *apud ibid.*, p. 64).

A linguagem desempenha outro importante papel no desenvolvimento; para Vygotsky o desenvolvimento cognitivo ocorre através das conversações e interações da criança com pessoas mais

capazes de sua cultura, ou adultos e companheiros com maior habilidade. Estas pessoas servem como guias e professores, ao proporcionar à criança as informações e apoio necessários para que cresça intelectualmente.

Para este autor, a interação e a assistência sociais mais que métodos de ensino, foram a origem dos processos mentais superiores como a solução de problemas. Supôs que *a noção da função mental pode-se aplicar de maneira adequada a formas de atividades em grupo, assim como individuais* (Wertsch *apud* Woolfolk, *op. cit.*, p. 49).

De acordo com Vygotsky, em qualquer nível de desenvolvimento existem certos problemas que uma criança está a ponto de resolver. A criança somente requer algumas estruturas, chaves, e recordações que a ajudem a recordar detalhes ou passos, que a encorajem a seguir tentando sucessivamente. É evidente que alguns problemas ultrapassam as capacidades da criança, ainda assim se explica cada passo com clareza. *Zona Desenvolvimento Próximo*, esta é a área na qual o ensino pode ter êxito, já que é onde a aprendizagem real é possível.

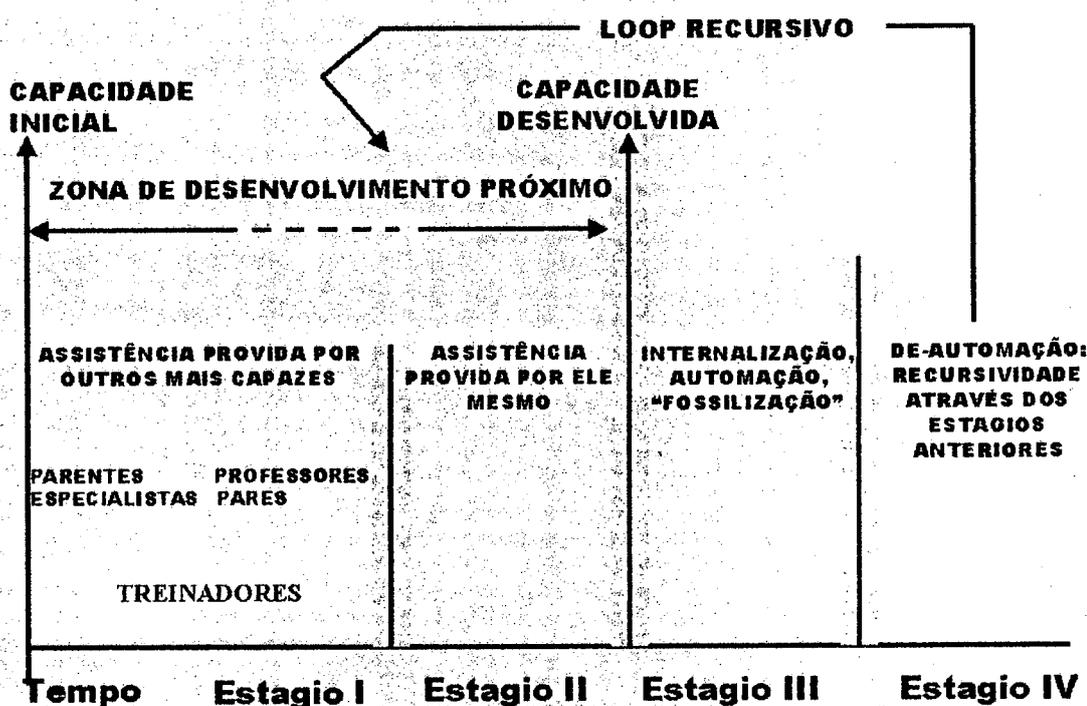
A exposição do conceito de *Zona de Desenvolvimento Proximal – ZDP*, (*Zone of Proximal Development – ZPD*) (Vygotsky *apud* Tharp, Gallimore, 1988), em '*Mind in Society*', afirma que as crianças seguem os exemplos dos adultos e gradualmente desenvolvem suas habilidades para fazer certas tarefas sem ajuda ou assistência. O autor denomina ZPD a diferença entre o que a criança pode e não pode fazer fora de orientação. *É a área na qual a criança não pode resolver um problema por si mesma, mas pode ter sucesso com a orientação de um adulto, ou a colaboração dos companheiros mais avançados* (Wertsch, *apud* Woolfolk, *op. cit.*, p. 51). A abordagem *whole-language* para ensinar a ler e escrever é influenciada por esta idéia.

Enquanto a criança joga e interatua com outros em casa e na escola, ela desenvolve modelos específicos de comunicação, expressão e explicação. Goddman e Goddman (*apud* Tharp e Gallimore, 1988) acreditam que o uso das formas da linguagem é a base para a alfabetização. Tharp e Gallimore (1988) usam o modelo ZPD para mostrar como a criança desenvolve a faculdade da fala e da linguagem. Vários pesquisadores como Newman, Griffin e Cole (*apud ibid.*) sugerem que as atividades incluídas no modelo acima refletem os antecedentes culturais do aprendiz. Os quatro estágios do ZPD são mostrados na figura 02.

Uma implicação da ZPD de Vygotsky é que se deve expor os estudantes a situações que precisam ser compreendidas, mas onde também esteja disponível a ajuda de outros estudantes ou do professor. Em algumas ocasiões, o melhor professor é outro estudante que acaba de compreender o problema, já que é provável que este aluno esteja operando na ZPD daquele estudante. A teoria de Vygotsky sugere que os professores devem preocupar-se não somente em dispor o entorno, senão de

condicionar o ambiente de maneira que os estudantes possam descobrir o problema por si mesmos. Deve-se guiar os alunos com explicações, demonstrações e exercícios em parceria com outros estudantes²⁰ – oportunidades para a aprendizagem cooperativa –. Deve-se fomentar nos estudantes o uso da linguagem para organização de seus pensamentos, para que assim consigam falar a respeito dos passos necessários para a resolução dos problemas.

Fig. 02: Modelo ZPD de 4 estágios.



Fonte: Tharp & Gallimore (1988):

<http://www.ncrel.org/sdrs/areas/issues/students/learning/lr1zpd.htm>

A seguir, definir-se-á a aprendizagem, identificando-se os seus diferentes tipos e os seus diferentes enfoques.

2.3. Aprendizagem

Para Wittrock (*apud* Good, Brophy, 1997, p. 109), a aprendizagem é o processo de adquirir mudanças relativamente permanentes no entendimento, na atitude, no conhecimento, na informação, na capacidade e na habilidade através da experiência. A mudança pode ser deliberada

²⁰ Estudantes reais ou virtuais, como proposto no ponto “5.2.3 Estratégias de Ensino” deste trabalho.

ou involuntária, para melhorar ou piorar (Woolfolk, 1996, p. 197). A aprendizagem é um evento cognitivo interno. Cria o potencial para mudanças na conduta observável, mas a ação potencial adquirida através da aprendizagem não é a mesma que sua aplicação em uma execução observável. Ademais, as relações entre aprendizagem anterior e o desempenho subsequente são imperfeitas. A ausência de uma conduta particular não significa que a pessoa não conheça nada sobre ela e o desaparecimento de uma conduta observada no passado não significa que a capacidade para executá-la tenha se perdido.

Aprendizagem não é o mesmo que pensamento, ainda que estes dois processos se apoiem de maneira mútua. *Pensamento refere-se ao uso de habilidades cognitivas, tais como formular e responder perguntas, procurar na memória, processar informação ou avaliar soluções potenciais para problemas* (Good, Brophy, *op. cit.*, p. 109). O pensamento pode produzir aprendizagem, seja quando as habilidades cognitivas forem usadas para processar entradas novas, ou quando a reflexão sobre experiências anteriores produzir conhecimentos internos novos.

Em resumo, a aprendizagem é uma mudança relativamente permanente na capacidade de execução, adquirida pela experiência. A experiência pode implicar interação aberta com o ambiente externo, mas também pode implicar processos cognitivos fechados.

Algumas distinções qualitativas e tipologias que têm provado ser úteis para conceituar a aprendizagem e a instrução são resumidas a seguir:

- Conhecimento declarativo, procedural e condicional.

‣ O conhecimento proposicional²¹, declarativo ou teórico é o “*conhecimento do quê*” - *conhecimento armazenado de proposições verbais indicando um fato ou conceito* - (Good, Brophy, *op. cit.*, p. 110). É conhecimento intelectual de fatos, conceitos e generalizações.

‣ O conhecimento procedural²² ou prático é o “*conhecimento do como*” - *como realizar tarefas e solucionar problemas* - (Woolfolk, *op. cit.*, p. 243).

‣ Conhecimento condicional²³ é o “*saber onde e por que*”, a fim de aplicar os conhecimentos declarativos e procedurais (*ibid.*).

Segundo (Good, Brophy, *op. cit.*, p. 110), as pessoas possuem *conhecimentos proposicionais e procedurais e podem integrá-los em conceitos de aplicação apropriados*. O conhecimento proposicional sem o correspondente conhecimento procedural é inerte - simples conhecimento verbal, inacessível quando sua aplicação for útil. O conhecimento procedural sem o

²¹ Denominada por Gagné (1980) como “*informação verbal*”.

²² Denominada por Gagné (1980) como “*aptidões intelectuais*”.

correspondente conhecimento proposicional é inflexível – uma rotina condutual dominada de memória sem considerações sobre princípios regentes, de modo que esta rotina não possa ser adaptada com facilidade a condições mutantes.

- Aprendizagem intencional e incidental (*ibid.*).

➤ A aprendizagem *intencional está dirigida ao objetivo de maneira consciente*: a pessoa tem a intenção de aprender certas coisas e se dispõe a aprendê-las.

➤ A aprendizagem *incidental ocorre sem intenção deliberada, geralmente quando a pessoa está relativamente passiva, respondendo ao ambiente, mas não perseguindo de maneira ativa objetivos específicos*.

Quando se procura aprender de maneira ativa, a atenção centra-se de maneira intencional no material que será apreendido, mas ocorre também alguma aprendizagem incidental. Ex. observar os maneirismos e os atributos dos professores na sala de aula.

- Aprendizagem memorística e aprendizagem significativa (*ibid.*).

➤ A aprendizagem memorística refere-se à *memorização do conteúdo sem elaborá-lo ou relacioná-lo com o conhecimento existente, ou ainda sem fazer outras tentativas para compreender seus significados e implicações*.

➤ A aprendizagem significativa refere-se à *construção coerente e compreensiva do conteúdo em vez de somente memorizá-lo*.

A aprendizagem significativa é retida por mais tempo do que a aprendizagem memorística.

- Aprendizagem pela recepção e descoberta.

➤ A aprendizagem pela recepção é a *aprendizagem mediante a qual o conhecimento é apresentado na sua forma final, efetuado de maneira típica, através da instrução expositiva, que expõe, explica e proporciona exemplos* (*ibid.*, p. 111).

➤ A aprendizagem pela descoberta é a *aprendizagem mediante a qual os estudantes são expostos a experiências e guias projetadas para conduzi-los à descoberta do conceito ou princípio chave* (*ibid.*).

Ausubel e Robinson (*ibid.*) mostraram que a *aprendizagem pela descoberta não é, necessariamente, superior à aprendizagem receptiva*. A *instrução expositiva e a aprendizagem receptiva podem ser ineficazes, por suposto, caso abordem um conteúdo inapropriado* (fatos

²³ Denominada por Gagné (1980) como “estratégias cognitivas”.

isolados sem princípios gerais organizadores) ou, forem usadas em excesso, de maneira que os estudantes adquiram o “conhecimento do quê” mas não o “conhecimento do como” (ibid.).

Os teóricos do campo têm desenvolvido tipologias que distinguem aprendizagens de acordo com diferenças no que se está aprendendo. Como as distinções qualitativas descritas anteriormente, estas tipologias são úteis como organizadoras para o planejamento da instrução. As mais relevantes, segundo Good e Brophy (*op. cit.*, p. 111), são a *taxonomia de objetivos cognitivos*²⁴ de Bloom *et. al.* e a *tipologia da aprendizagem*²⁵ de Gagné e Briggs. Estes últimos autores ofereceram também lineamentos a respeito das formas diferentes de instrução requeridas para cada tipo de aprendizagem, como pode ser revisado em Good e Brophy (*op. cit.* p. 114).

2.3.1. Perspectivas condutuais da aprendizagem

Neste ponto serão descritas as contribuições dos teóricos da aprendizagem conhecidos como “condutuais”, enfocando os processos a seguir:

²⁴ Os seis objetivos básicos da *taxonomia do pensamento ou área cognitiva* são (Bloom, Engelhart, Frost, Hill e Krathwohl *apud* Woolfolk, 1996, p. 447):

- Conhecimento: lembrar ou reconhecer algo sem necessariamente compreendê-lo, usá-lo ou mudá-lo.
- Compreensão: entender o material que se comunica sem necessidade de relacioná-lo com algo mais.
- Aplicação: usar um conceito geral para solucionar um problema particular.
- Análise: dividir algo em partes.
- Síntese: criar algo novo ao combinar diferentes idéias.
- Avaliação: julgar o valor dos materiais ou métodos e como poderiam ser aplicados em uma situação particular.

Os autores Krathwohl, Bloom e Masia (*apud* Woolfolk *op. cit.*, p. 448), também definem os objetivos da *taxonomia no domínio afetivo*, a saber:

- Recepção: estar consciente de algo do entorno ou prestar-lhe atenção.
- Resposta: apresentar alguma conduta nova como resultado da experiência.
- Valoração: demonstrar algum compromisso ou valoração.
- Organização: integrar um valor novo no próprio conjunto geral de valores do indivíduo, dando-lhe alguma classificação entre as prioridades gerais.
- Caracterização por valor: atuar de maneira consistente com o novo valor.

Alguns autores como Harrow e Simpsons (*apud* Woolfolk *op.cit.*, p. 449) definem *taxonomias para o domínio psicomotriz*. Estas taxonomias, em geral, partem das percepções básicas e ações reflexas para movimentos hábeis e criativos. O autor Gangelosi (*apud* Woolfolk *op. cit.*) oferece uma maneira útil de considerar os objetivos no domínio psico-motriz, seja como capacidades musculares voluntárias que requerem resistência, força, flexibilidade, agilidade ou rapidez; ou como a capacidade de realizar uma habilidade específica.

²⁵Gagné e Briggs (*apud* Good, Brophy, 1997, p. 113) identificaram cinco tipos de aprendizagem:

- Atitudes: estados internos que influem nas escolhas de ações pessoais.
- Habilidades motoras: movimentos musculares organizados usados para realizar ações determinadas.
- Informação: fatos e conhecimentos a respeito do mundo, organizados e armazenados na memória.
- Habilidades intelectuais: habilidades que permitem aos aprendizes levar a cabo procedimentos baseados em símbolos (discriminações, conceitos concretos, conceitos definidos, regras e regras de ordem superior).
- Estratégias cognitivas: estratégias que os aprendizes usam para examinar seu próprio processamento cognitivo a fim de controlar sua aprendizagem ou desenvolver soluções para os problemas.

• *Contigüidade e condicionamento clássico.* Uma das primeiras explicações da aprendizagem é a de Aristóteles (322-384 A.C.). Assinalou que recordam-se as coisas em conjunto (Woolfolk, *op. cit.*, p. 199): *quando são similares, quando são diferentes e quando são contíguas.* Este último princípio é o mais importante, posto que se inclui em todas as explicações de aprendizagem por associação. O princípio de contigüidade estabelece que (Good, Brophy, *op. cit.*, p. 129): *os estímulos associados ocorrem frequentemente juntos, de maneira simultânea ou em sucessão rápida.* Mais tarde, *quando uma destas sensações (um estímulo) ocorre, também se recordará a outra (uma resposta)* (Rachlin *apud* Brophy *op. cit.*, p. 129).

A contigüidade desempenha uma função em uma parte da aprendizagem, na escola, como por ex. fazer tarefas de ortografia, praticar as tabelas de multiplicação, etc., que são exemplos de formar associações. A contigüidade também desempenha uma função importante em outros processos de aprendizagem melhor conhecidos como condicionamento clássico.

• *Pavlov e o condicionamento clássico.* Enfocado na *aprendizagem de respostas emocionais involuntárias como o temor, o incremento no ritmo cardíaco, a salivação, a sudação* (Woolfolk, 1996, p. 200). Good e Brophy (1997, p. 130) definem os conceitos dos princípios das descobertas de Pavlov da seguinte maneira: Um *estímulo incondicionado* é um evento que produz de maneira natural uma resposta incondicionada devido ao fato de esta conexão estar incorporada no sistema nervoso do organismo. A *resposta incondicionada* é uma resposta programada de maneira biológica diante de um estímulo incondicionado e é produzida de forma automática, não estando implicado aí nenhum processo de condicionamento (no ato da aprendizagem). Um *estímulo neutral* não produz uma resposta particular. Um *estímulo condicionado* não produz, inicialmente, uma resposta, mas através de sua união com um estímulo incondicionado adquire a capacidade de produzir uma resposta condicionada. Uma *resposta condicionada* origina-se como uma resposta incondicionada diante um estímulo incondicionado, mas é apreendida pelo organismo como uma resposta semelhante produzida por um estímulo condicionado.

O condicionamento clássico refere-se somente a situações onde as ações reflexas respondem aos estímulos condicionados, mas também aos estímulos incondicionados que as produzem de forma normal. Esse termo é usado também de maneira mais ampla para referir-se a qualquer aprendizagem de substituição de estímulos ou aprendizagem de sinais, onde a contigüidade e a repetição são usadas para induzir os aprendizes a generalizar uma conexão estímulo-resposta, já existente a algum estímulo novo. Este tipo de condicionamento pode ser usado no ensino do vocabulário, por exemplo, mostrando desenhos junto aos seus nomes impressos, mostrando palavras em português ao lado de suas equivalentes em inglês.

• *Thorndike e o condicionamento instrumental.* Thorndike (*apud* Good, Brophy *op. cit.*, p. 130) realizou estudos que implicavam no uso de princípios de condicionamento e reforço para ensinar métodos de solução de problemas ou outras condutas que eram instrumentais para conseguir os objetivos. Ele (*apud* Freinet, 1989, p. 29) enunciou, sob o nome de “Lei do Efeito”, o seguinte princípio: *um ato que alcançou um resultado satisfatório tende a repetir-se.* Mas ninguém viu a importância decisiva daquilo a que se chamou *permeabilidade à experiência.* Concluiu-se, precisamente, que o êxito produzia um “reforço”. E este reforço foi cultivado de uma maneira mecânica pela recompensa que, com a teoria da tentativa e do verdadeiro e falso, tem sido a base de todas as teorias *comportamentalistas* ou *behavioristas.* A base da aprendizagem aceita por Thorndike, nos seus primeiros escritos, era a associação entre as impressões do sentido e os impulsos para a ação. Uma tal associação veio a ser conhecida como “*ligação*” ou “*conexão*”. Estas ligações ou conexões podem ser fortalecidas ou enfraquecidas pela formação ou rompimento de hábitos. Este sistema tem sido chamado algumas vezes de psicologia da “*ligação*” ou simplesmente “*conexionismo*”, constituindo-se, dentro da psicologia da aprendizagem, na primeira teoria de *estímulo-resposta* (Hilgard, 1975, p. 19). Para este autor, *a aprendizagem e o desenvolvimento sobrepõem-se permanentemente como duas figuras geométricas que estejam uma sobre a outra; para Koffka o desenvolvimento continua referindo-se a um âmbito mais amplo do que a aprendizagem* (Schneuwly, Bronckart, 1985, p. 104). A relação entre ambos os processos pode ser representada esquematicamente através de dois círculos concêntricos; o menor representa o processo de aprendizagem e o maior, o desenvolvimento que se estende para além da aprendizagem.

• *Skinner e o condicionamento operante.* O condicionamento operante²⁶ aplica princípios de reforço para condicionar ou modelar condutas operantes. As condutas operantes são respostas voluntárias, que não são produzidas de maneira automática por algum estímulo conhecido, e são usadas para operar sobre o ambiente (*apud* Good, Brophy, *op. cit.*, p. 132).

O mecanismo primário para conseguir o modelamento da conduta é o *reforço contingente*, que implica em reforçar a execução da conduta alvo, administrando reforços somente quando a conduta tiver sido executada, conforme algum critério. Skinner definiu um *reforço* como uma “*recompensa*”. Um reforço é qualquer consequência que fortalece a conduta que o segue. Assim,

²⁶ O *condicionamento operante* realiza-se através dos mecanismos básicos (Good, Brophy 1997, p. 133):

- reforço positivo ou recompensa: as respostas que são recompensadas têm a probabilidade de serem repetidas;
- reforço negativo: as respostas que permitem evitar ou escapar de situações indesejadas têm a probabilidade de serem repetidas;
- extinção ou não reforço: as respostas que não são reforçadas não têm a probabilidade de serem repetidas;
- castigo: as respostas que têm consequências dolorosas ou indesejáveis serão suprimidas. Mas, o potencial condutual permanecerá, assim que a resposta possa reaparecer se as contingências do reforço mudarem.

por definição, as condutas reforçadas desenvolvem-se ou pela frequência ou duração. Sempre que uma conduta persiste ou desenvolve-se com o tempo, supõe-se que as conseqüências dessa conduta são reforços para o indivíduo. Quando as pessoas estão aprendendo uma conduta nova, têm mais sucesso se são reforçadas cada vez que dão uma resposta correta. Este é um *programa de reforço contínuo* (Woolfolk, *op. cit.*, p. 205). Depois, quando dominam uma nova conduta, a manterão melhor se forem reforçadas de maneira intermitente em vez de sê-lo em todas as ocasiões. Um *programa de reforço intermitente*²⁷ ajuda os estudantes manterem as habilidades sem esperar o reforço contínuo.

Em resumo, o enfoque skinneriano da instrução implica formar associações estímulo-resposta, indicando aos aprendizes a natureza da resposta desejada e logo proporcionando retroalimentação imediata a respeito das respostas produzidas corretamente, de maneira que sejam reforçadas e as incorretas, extintas. Quando necessário, os programas são sequenciados para mover os aprendizes, através de aproximações sucessivas, em direção a respostas alvo finais. Skinner também aplicou princípios de condicionamento operante para desenvolver tecnologias para a condução das aulas e realização de instrução. As máquinas de ensino, a instrução programada e a instrução computadorizada estão, entre as tecnologias desenvolvidas, ao menos em parte, baseadas nas suas idéias.

2.3.2. Teoria da aprendizagem social

Nos anos recentes, os psicólogos condutistas vêm acreditando que o condicionamento operante oferece uma explicação muito limitada da aprendizagem. Eles vêm ampliando a perspectiva da aprendizagem para incluir o estudo de processos cognitivos, que não podem de ser observados de maneira direta, como as expectativas, os pensamentos e as crenças. Estes psicólogos dão, somente, uma explicação parcial da aprendizagem e não se atêm a alguns outros aspectos importantes do assunto, como as influências sociais²⁸ da aprendizagem²⁹.

²⁷Existem dois tipos de programas de reforço intermitente, a saber (Woolfolk, 1996, p. 205):

- de intervalos: baseia-se na quantidade de tempo que transcorre entre reforços;
 - de razão: baseia-se no número de respostas que os indivíduos que aprendem dão entre os reforços.
- Estes programas podem ser: *fixos* (predizíveis) ou *variáveis* (impredizíveis).

²⁸“Se as estruturas que possibilitam uma certa conduta entre membros de uma espécie se desenvolvem na condição de existir uma história particular de interações, diz-se que as estruturas são ontogênicas e que as condutas são aprendidas”, (Maturana, Varela, 1992, p. 114).

²⁹As formas de aprendizagem social que requerem mediação cognitiva definidas por Good e Grophy (1997, p. 138), são apresentadas a seguir:

- imitação de modelos: os humanos aprendem a falar, usar ferramentas, e comportar-se de maneira apropriada em várias situações sociais em sua maior parte imitando os outros;
- em ocasiões, as capacidades condutuais adquiridas com a observação de modelos são expressadas até muito depois;
- não somente se pode aprender imitando o que fazem outras pessoas, mas também observando como são afetadas por acontecimentos nas suas vidas. Para Gaonac'h (1995, p. 47), esta aprendizagem aproveita a experiência dos outros, podendo-se tomar em conta as conquistas e os fracassos de outras pessoas, para

A seguir, serão estudados alguns autores que defendem esta teoria:

- *Bandura e a teoria cognitiva social.* Esta teoria aceita os princípios do condutismo, mas também considera fenômenos não pertencentes a essas concepções, como: o papel das atitudes, das expectativas, e das crenças. O que se procura é dar conta do papel das influências sociais da aprendizagem³⁰. Esta aprendizagem refere-se ao papel da imitação no desenvolvimento geral. As crianças aprendem muito observando seu meio e tentando imitar o que observam³¹. A capacidade de imitação aparecem muito cedo. Bandura amplia o raciocínio a toda situação de aprendizagem e considera que ele pode de início se fundir com a observação. A referência à conduta das pessoas que servem de modelo é uma forma de aprendizagem fortemente presente nas situações da vida cotidiana. Estes modelos podem ser congêneres ou não: adultos, crianças, etc.; eles podem também corresponder a símbolos, cujo valor social é importante³²: as palavras, as idéias que são valorizadas socialmente, as imagens, os acontecimentos, etc.

Em todo caso, o papel do professor ou tutor é propor um modo de representação que permita a memorização e utilização efetiva do modelo. O aluno pode ter atrito com o modelo, aproximar-se ou afastar-se do modelo, em relação ao comportamento visado. A imitação, a realização do comportamento visado, são para ele as únicas fontes de reforço. *O reforço exterior (a recompensa, sob qualquer forma que seja), é contudo, freqüentemente uma condição da realização efetiva dos comportamentos aprendidos (em relação à distinção performance/aquisição),* (Gaonac'h, 1995, p. 49).

- *Os estudos da evolução psicológica da criança de Wallon.* Constituem uma enorme contribuição à Psicologia; voltados para a evolução psicológica da criança, o seu legado ultrapassou os limites desse momento da vida, ao fornecer elementos para a compreensão da dinâmica do processo de conhecimento. Wallon (*apud* Giusta, 1985, P. 30) vai à gênese desse processo, teorizando sobre a passagem do orgânico ao psíquico e apontando caminhos para a análise dialética de teorias reducionistas que privilegiam ora o orgânico, ora o social no curso do desenvolvimento humano. A

ajustar comportamentos. Neste caso, O reforço não é diretamente aplicável aos comportamentos do aprendiz, mas sim aos comportamentos que ele pode observar (*ibid.*).

³⁰Bandura (*apud* Woolfolk, 1996, p. 221) assinala que existem quatro fatores que devem ser considerados na aprendizagem pela observação: *prestar atenção, reter informação ou impressões, produzir condutas e estar motivado para repetir as condutas.*

³¹A aprendizagem pela observação tem cinco classes possíveis de resultados: ensino de novas condutas e atitudes, fomento de novas condutas já apreendidas, troca de inibições, direção da atenção e provocação de emoção (*ibid.*).

³²Segundo esta abordagem, os fatores que favorecem a aprendizado social, são:

- atrair a atenção: a aprendizagem vicariante supõe, de início, que o sujeito preste atenção sobre um aspecto específico do meio ambiente;
- nas crianças, é a imitação ou a observação de um irmão mais velho, de um jovem ou adulto;
- nos adolescentes, a referência é constante aos modelos sociais valorizados pelas mídias.

passagem do orgânico ao psíquico³³, que equivale à síntese entre o individual e o social é, para Wallon, um dos problemas cruciais da Psicologia.

A criança nasce para o psiquismo devido à emoção, que tem como função inicial a comunhão com o outro, a união entre os indivíduos em virtude das suas reações orgânicas, de sua fragilidade. No princípio, essa convivência é indistinta, mas engendrará as oposições e os desdobramentos que gradualmente vão dando origem às estruturas da consciência. A primeira expressão da emoção é o movimento, que é, ao mesmo tempo, o seu substrato. A motricidade é o tecido comum e original de onde procedem as realizações da vida psíquica. Essa primeira fase das trocas entre indivíduos e com o mundo em geral corresponde a um tipo de inteligência denominada por Wallon de inteligência das situações, de onde emerge a inteligência discursiva, cuja manifestação inicial é a representação. A imitação é o elemento responsável pela superação de um tipo de inteligência pelo outro (inteligência das situações e inteligência discursiva).

Ao tratar das origens do pensamento, entendido como inteligência discursiva, Wallon se volta para uma descrição psicológica de crianças de 5 a 7 anos, pois todas as etapas anteriores tinham sido já estudadas exaustivamente nas obras precedentes. E ele privilegia, nessa descrição, os obstáculos com os quais as crianças se deparam para explicar seu pensamento e as contradições entre o instituído e suas experiências, entre o formalismo da linguagem e a fluidez dos dados empíricos em si mesmos contraditórios; em última análise, entre o real e sua representação.

Em toda a extensão da obra de Wallon, encontra-se a preocupação de concentrar suas análises em processos, por considerar que é o confronto do indivíduo com a sociedade que leva à construção da inteligência. A afirmação a seguir é basilar para confirmar isso:

Jamais pude dissociar o biológico do social, não porque os creia redutíveis um ao outro, mas porque me parecem, no homem, tão estreitamente complementares desde o nascimento que é impossível encarar a vida psíquica de outro modo que não seja sob a forma de suas relações recíprocas (Wallon *apud* Giusta, 1985, p. 30).

• *Os métodos naturais de Freinet.* Existe, entre os métodos tradicionais e os métodos naturais propostos por Freinet (1977, p. 39), uma diferença fundamental de princípio, sem a compreensão da qual todas as apreciações serão sempre injustas e errôneas: os métodos tradicionais são especificamente escolares, criados, experimentados e mais ou menos realizados por um meio escolar que tem as suas finalidades, os seus modos de vida e de trabalho, a sua moral e as suas leis

³³Wallon (Giusta, 1985, p. 30) tenta explicá-la por meio de quatro elementos estritamente interligados: a emoção, a motricidade, a imitação e o "socius".

diferentes das finalidades, dos modos de vida e de trabalho do meio não escolar a que chamaremos de meio vivo.

Ao conceito intelectualista de educação, nós opomos a nossa pedagogia realista que exige para a formação das crianças tanta solicitude, no plano material como financeiro, como a que se aplica à fabricação de painéis ou de automóveis, na reconstituição das reservas de gado, ou na preparação para guerra (Freinet, 1945, *Apud* Freinet, 1969, p. 470).

Na opinião de Freinet (1988, p. 24), *nenhuma técnica conseguirá preparar melhor do que aquela que incita as crianças a se exprimirem pela palavra, pela escrita, pelo desenho e pela gravura*. A tentativa experimental³⁴, segundo o autor, faz-se por patamares: *em cada patamar a criança consolida a sua experiência até automatizá-la* (Freinet, 1977, p. 46).

Quanto à aprendizagem do desenho, a abordagem do autor (*ibid.*, p. 48) considera: “*é o mesmo processo de tentativa experimental que iremos encontrar ao longo de toda a aprendizagem do desenho: grafismo atingido, repetição mecânica desse grafismo para automatizá-lo, início de uma nova etapa a partir do primeiro patamar, novo triunfo, nova repetição, etc.*” O autor também tratou aspectos relativos à aprendizagem da escrita³⁵.

³⁴ O resumo do processo de tentativa experimental proposto por Freinet (1989, p. 41), não exclusivo para a aquisição da linguagem, é o seguinte:

- ser humano é, em todos os domínios, animado por um princípio de vida que o empurra a subir incessantemente a crescer, a aperfeiçoar-se, a pegar em instrumentos e mecanismos, a fim de adquirir um máximo de poder sobre o meio que o rodeia;
- o indivíduo experimenta uma espécie de necessidade, não só psicológica, mas funcional, de harmonizar os seus atos, os seus gestos, os seus gritos com os indivíduos que o cercam. Todo o desacordo, toda a desarmonia são sentidos como a busca pela integração, uma causa de sofrimento;
- como se realizará esta conquista?. Não existe outro processo, além da tentativa experimental, já que a própria ciência não é mais que o resultado final desta tentativa;
- processo de tentativa experimental não é, forçosamente, mais demorado que as pretensas construções lógicas. Este processo, aliás, pode ser aperfeiçoado e acelerado.

³⁵ Freinet (1989a, p. 40) diz a respeito da escrita: *aprender a descobrir, a reconhecer e a utilizar os sinais da linguagem escrita (codificação e decodificação) pode corresponder, entre os 5 e os 7 anos, à necessidade de decifrar o meio e se apropriar dos seus sinais (palavras, símbolos, grafos)*. Assim, esta aprendizagem apoia-se na curiosidade infantil, que por sua vez a cultiva, e no íntimo vital a estimula, com a condição, porém, de pôr em jogo e desenvolver toda a vida afetiva da criança. Ainda a esse respeito, é preciso se basear:

- na sua necessidade de expressão (pelo gesto, pela palavra, pelo desenho, em seguida pela linguagem escrita);
- na sua necessidade de comunicação: através da expressão escrita das descobertas, dos sentimentos, alegrias, surpresas e acontecimentos da vida infantil, com colegas e professores.

O trabalho de Freinet (1945), ao mesmo tempo que traçou o programa dos esforços cooperativos, traçou um verdadeiro plano de ensino³⁶.

Nas palavras de Freinet (1989, p. 28), a *“pedagogia behaviorista permaneceu a meio caminho de suas próprias descobertas. Completamo-las pela tentativa experimental de que fizemos a base de nossos métodos naturais que são a própria manifestação dos processos da vida”*. Finalmente, segundo o autor (1988, p. 7), *a educação não é uma fórmula de escola, mas sim uma obra de vida.*

2.3.3. Perspectiva socio-cultural da educação.

- *A “educação como prática de liberdade” de Freire.* As idéias de Freire e seus seguidores, para alguns autores, tais como Giraffa (1997, p. 53), estão situadas dentro de uma abordagem sócio-cultural. Freire apresentou, em 1967, seu método de alfabetização no livro *“Educação como Prática de Liberdade”*. A rigor, não se poderia falar de *“método”* Freire, pois trata-se muito mais de uma teoria do conhecimento e de uma filosofia da educação do que de um método de ensino. *Apesar de tudo, Paulo Freire acabou sendo conhecido pelo método de alfabetização de adultos que leva seu nome; chame-se a esse método sistema, filosofia ou teoria do conhecimento* (Gadotti, 1989, p. 32).

Falar de método, no caso de Paulo Freire, é perigoso, pois método lembra receitas, prescrições. As experiências e os métodos que Freire usou não eram transplantados de um lugar para outro. O método usado num lugar era descrito, discutido e criticamente compreendido pelo grupo que estava exercendo a prática. Não havia nem fechamento a um método já utilizado, nem sua utilização de forma ingênua (Ramos, 1996, p. 94).

Segundo Ramos (1995, p. 89), *toda teoria pedagógica é, no entender de Freire, subjacente a um conceito de homem e de mundo. Não há portanto uma educação neutra.*

³⁶As idéias de Freinet (1945), a respeito do plano de ensino, são:

- a expressão livre e o curso normal de pensamento e da escrita através da tipografia, do jornal e do intercâmbio escolares;
- a escola através da vida e para a vida com: o trabalho autêntico, a coleta de dados sobre o meio ambiente, a cooperação, a integração dos adultos na obra educativa;
- satisfação natural da necessidade de conhecer e de se aperfeiçoar através: do fichário escolar cooperativo, dos fichários autocorretivos, da biblioteca de trabalho, do cinema, da rádio, e das pesquisas técnicas (aritmética, agricultura, ciências, etc...);
- a satisfação artística através: da imprensa, da gravura, do desenho, do teatro, do cinema, da dança e da ginástica rítmica.

Segundo Silva e McLaren (1993, p. 85):

“A política pedagógica de Paulo Freire, se protegida das práticas *reducionistas* dos educadores liberais para transformá-la em um método, pode servir como uma praxes onde os negros e latinos, longe de temores e regulações do controle do poder branco, onde vínculos sentimentais e redes de obrigações sociais possam ser formadas entre as pessoas oprimidas, onde a resistência possa capacitar as escolas a tornarem-se mais do que instrumentos de réplica social, onde contrastando os estilos culturais e capitais culturais entre os grupos cessem de manter os símbolos de alienação que separam os grupos, provocando-os a se conduzirem impetuosamente como viajantes sob um sono social provocador”.

A teoria pedagógica³⁷ de Freire propõe uma educação construída sobre a idéia de um diálogo entre educador e educando, onde exista sempre partes de cada um no outro, que não poderia começar com o educador trazendo pronto do seu mundo, do seu saber, o seu método de ensino e o material para as suas aulas baseados na sua cultura e valores. Dentro desta concepção é que um dos pressupostos do método se fundamenta na idéia de que ninguém educa ninguém e ninguém se educa sozinho. Segundo Shor (1993, p. 25):

“a pedagogia social de Freire define a educação como um espaço onde se constrói o individual e o social, onde a ação social pode também fortalecer ou fazer os estudantes submissos. Nas aulas livres sugeridas por Freire, o professor propõe problemas derivados da vida do estudante, dos aspectos sociais, de assuntos acadêmicos em um diálogo mutuamente criado.”

Este método auxilia o processo de escolha do repertório das palavras³⁸ do trabalho criativo de aprender a ler. Desta forma, observa-se que as palavras são a menor unidade da pesquisa, assim como os fonemas das palavras são a menor unidade do método. Sob este enfoque, as palavras

³⁷ A primeira etapa pedagógica de construção da teoria de Freire foi denominada como “*levantamento do universo vocabular*”, “*descoberta do universo vocabular*”, “*pesquisa do universo vocabular*” e “*investigação do universo temático*”. Esta etapa enfatiza a idéia de que há um universo vocabular referente à cultura do povo que habita um determinado lugar, e que este deve ser investigado, pesquisado, levantado, descoberto. Esta etapa não significa uma pesquisa realizada com grande rigor científico, pois não se pretende realizar nenhum teste de hipóteses. A finalidade é apenas obter informações quanto ao linguajar da comunidade que irá ser alfabetizada. Nesta fase da pesquisa do universo vocabular, esta deve ser conduzida de modo a reduzir, o máximo possível, a diferença entre pesquisador e pesquisado.

³⁸ Para a escolha das palavras a serem usadas pelo método de alfabetização, Freire adotou o seguinte critério:

- a riqueza fonêmica da palavra geradora;
- as dificuldades fonéticas da língua;
- a densidade pragmática do sentido.

não são só um instrumento de leitura da língua³⁹; são consideradas instrumentos de releitura coletiva da realidade social onde os alunos estão ambientados. Compreende-se, portanto, que as palavras apresentam um papel de extrema relevância. Dentro desta abordagem, considera-se a melhor palavra geradora aquela que reunir em si a maior porcentagem possível de critérios sintáticos, semânticos e pragmáticos. Os critérios sintáticos significam a possibilidade ou riqueza fonêmica, grau de dificuldade fonêmica complexa, de manipulação dos conjuntos de sinais, as sílabas, etc.; enquanto o semântico significa a maior ou menor intensidade do vínculo e da adequação entre a palavra e “o ser” que designa; já o pragmático significa o maior ou menor teor de conscientização que a palavra traz em potencial, ou conjunto de relações sócio-culturais que a palavra gera na pessoa ou grupo que a utiliza.

Para Freire e Shor (1987, p. 123):

Ao comunicarmos, no processo de conhecimento da realidade que transformamos, comunicamos e sabemos *socialmente*, apesar de o processo de comunicação, de conhecimento, de mudança, ter uma dimensão individual. Mas o aspecto individual não é suficiente para explicar o processo. É um evento social, ainda que com dimensões individuais.

O método de alfabetização de adultos não representa mais do que uma fase inicial de um longo processo de um sistema de educação⁴⁰. É assim que Paulo Freire propõe uma linguagem político-pedagógica, absolutamente nova, progressista e renovadora para a época. O autor também abordou a importância dos “conteúdos programáticos”, *que deveriam ser democraticamente escolhidos pelas partes interessadas no ato de alfabetizar, dentro de uma proposta mais ampla de educar* (Freire, 1993 p. 241). Ao contrário da concepção tradicional de escola, que se apóia em métodos centrados na autoridade do professor; *Paulo Freire comprovou que os métodos novos, em que os alunos e professores aprendem juntos, são mais eficientes* (Gadotti, 1989, p. 34).

³⁹ A partir do levantamento das palavras-chave, a pesquisa realizada obtém conhecimento de um mundo imediato, configurado pelo repertório dos símbolos através dos quais os educandos passam para as etapas seguintes do processo do aprendizado coletivo e solidário, fundamentado em uma leitura que busque a realidade social em que o educando está inserido e a da palavra escrita que a retraduz. Observa-se que o método evidencia regras de fazer, mas de maneira alguma ele deve buscar impor formas únicas, formas sobre como fazer. A concepção de Freire, dentro desta ótica, evidencia um ponto muito criticado por Vygotsky com relação à intervenção educacional, que se arrasta atrás dos processos psicológicos desenvolvidos, ao invés de focalizar as capacidades e funções emergentes.

⁴⁰ Podendo ser constituído das seguintes etapas:

- processo acelerador da aprendizagem da leitura e da escrita a um nível elementar;
- um processo sistematizado de educação correspondente ao nível primário, com o qual se obtém a funcionalidade na leitura e na escrita; um nível mais profundo no que tange à conscientização e uma ampliação do campo de estudos com a introdução de outros elementos necessários à educação de adultos;
- uma etapa mais avançada de educação, que deve ser oferecida a todo o povo.

Segundo Bimbi (*apud* Gadotti, 1989. P. 32), *a originalidade do método Paulo Freire não reside apenas na eficácia dos métodos de alfabetização, mas sobretudo, na novidade de seus conteúdos para 'conscientizar' [...].*

2.3.4. Perspectivas cognitivas e construtivistas da aprendizagem.

Os teóricos cognitivos concentram-se na aprendizagem humana, em especial na aprendizagem significativa da informação e das habilidades intelectuais mediadas pela linguagem. Com a recente consciência de que a aprendizagem é um processo mental ativo, os psicólogos passaram a interessar-se pela maneira como *os humanos pensam, aprendem conceitos e solucionam problemas* (Ausebel; Bruner, Goodnow, Austin *apud* Woolfolk, 1996). *Os modelos construtivistas são modelos de aprendizagem que enfatizam o desenvolvimento do conhecimento novo nos estudantes através dos processos de construção ativa que vinculam o conhecimento novo ao conhecimento prévio* (Good, Brophy, 1997, p. 156). Em lugar de receber de maneira passiva ou apenas copiar a informação dos professores ou dos livros de texto, os alunos mediam de maneira ativa a entrada de informação, tratando de dar-lhe sentido e de relacionar-lhe com o conhecimento prévio que possuem do tema em questão. Este processo de construção é importante devido ao fato de que se os estudantes não construírem representações da nova aprendizagem, “*tornando-a sua*” ao parafrasear-lhe e considerando seus significados e implicações, a aprendizagem será retida somente como lembranças mecânicas relativamente carentes de significado e inertes⁴¹. *Para desenvolver conhecimento gerativo⁴², os estudantes precisam explicar e questionar o que se lhes diz, examinar o conteúdo novo em relação ao conteúdo familiar e construir estruturas de conhecimento novo* (Resnick, Klopfer, *apud* Good, Brphy, *op. cit.*, p. 157).

A seguir serão consideradas algumas perspectivas cognitivas e construtivistas da aprendizagem.

A Psicologia da Gestalt⁴³. Teóricos como German Wertheimer, Koffka e Köhler, rejeitaram a suposição prematura de que a organização perceptiva era produto das relações de aprendizagem (associações), cujos elementos constituintes foram chamados de sensações simples. *Embora os Gestaltistas concordassem que uma simples sensação lógica pudesse ser subentendida para a compreensão da percepção organizada, eles argumentavam que as mesmas percepções eram*

⁴¹O conhecimento inerte é reconhecível quando recebe indícios através de perguntas ou reações de provas muito similares aos usados nos exercícios de prática, mas os estudantes não serão capazes de aceder a ele e aplicá-lo quando puder ser útil na vida cotidiana (Good, Brophy, 1997, p. 157).

⁴²O conhecimento gerativo, que se pode usar para interpretar situações novas, solucionar problemas, pensar, raciocinar, aprender de maneira geral (*ibid.*)

⁴³ Significa “*forma*” ou “*configuração*” em Alemão.

básicas para a experiência (Dember, 1980, p. 481). Sem contestar a participação da aprendizagem na percepção, muitos teóricos tomaram a posição de que essa organização perceptiva reflete propriedades inatas da mente. Realmente, o funcionamento da percepção e da mente foram considerados como formalmente idênticas (ou isomórficas).

Pesquisas contemporâneas sobre percepção são dirigidas para a inferência das *características específicas das funções da mente, como comportamentos semelhantes aos ocorridos quando se citam relatos (introspecção) fornecidos pelas pessoas a respeito das suas experiências sensoriais* (Dember, 1980, p. 482). Muitas dessas inferências são satisfatoriamente combinadas com observações fisiológicas da mesma mente.

Köhler (*apud* Good, Brophy, 1997, p. 157), em seus célebres trabalhos, sobre a inteligência dos símios superiores, coloca em relevo o fato de que a estruturação de uma situação se faz bruscamente: o *insight* é uma compreensão direta da situação, resultando da organização interna e espontânea de uma percepção ou de uma representação⁴⁴. Os fatores que podem explicar a memorização de um material ou aprendizagem dependem, sobretudo, da forma deste material. Este princípio pode ser ilustrado pelo efeito *von Restorff*: *Um elemento isolado é melhor memorizado quando ele está situado num conjunto de outros elementos homogêneos, que estão misturados a elementos heterogêneos* (Gaonac'h, 1995, p. 43).

Para que as atividades mentais de um sujeito cheguem a estruturar uma situação, é preciso ainda que elas sejam estruturáveis. A análise *behaviorista* preconizava a apresentação, em cada etapa de um processo de aprendizagem, dos elementos estritamente necessários ao cumprimento dessa etapa. O ponto de vista *gestaltista* insiste sobre a necessidade de fornecimento ao aprendiz de situações suficientemente ricas para que ele possa fazer suas escolhas, estabelecer relações entre os elementos, tendendo a uma estruturação eficaz.

Dizem ainda os *gestaltistas*, ser raro a execução de algo de maneira exatamente idêntica duas vezes seguidas: na "*repetição*" de um gesto, ou de um discurso, as variantes mais ou menos fortes observadas em uma tentativa à outra, revelam um acaso mal controlado, ou ao contrário, a necessidade de introduzir uma variação útil ao aprendido. Em resumo, a aprendizagem não ocorre sobre os elementos de uma situação, mas sobre a maneira com estes elementos se organizam. É uma atividade mental do sujeito que chega à constituição de uma organização. Essa atividade traduz-se, freqüentemente, pela brusca descoberta do princípio mais eficaz de organização.

⁴⁴ Não se pode explicar este tipo de dados sem referência às atividades mentais do sujeito, que os *behavioristas* recusavam: Em toda situação o sujeito constrói uma representação global da mesma, e é sobre a base dessa representação que se pode construir e estabelecer os comportamentos. Os elementos da situação não se apresentam casualmente sobre as atividades de estruturação, que são a origem das representações mentais.

A Gestalt opõe-se ao behaviorismo por possuir um fundamento epistemológico de tipo racionalista, ou mais precisamente, *por pressupor que todo conhecimento é anterior à experiência, sendo fruto de todo exercício de estruturas racionais, pré-formadas no sujeito* (Giusta, 1985, p. 25).

A psicologia da Gestalt trata, ainda, mais da percepção do que da aprendizagem. Wertheimer utilizou-a para formular linhas para a instrução, dando origem ao nascente campo da Psicologia Educativa. Ausubel e Bruner (*apud* Good, Brophy, p. 158) basearam-se na ênfase dada pelos psicólogos da Gestalt sobre a consciência dos aprendizes a respeito *da estrutura do conteúdo que vai a ser aprendido e das relações entre seu elementos*. Bruner (*apud ibid.*), também *baseou-se na noção da aprendizagem pela descoberta*.

• *Ausubel e a aprendizagem significativa via recepção*. Descrita como a aprendizagem por instrução expositiva que comunica o conteúdo a ser aprendido em sua forma final. Ausubel é citado de maneira extensa pela declaração a seguir: *o fator mais importante que influi na aprendizagem significativa de qualquer idéia nova é o estado da estrutura cognitiva do indivíduo existente no momento da aprendizagem* (Ausubel, Robinson *apud* Good, Brophy, *op. cit.* p. 159). O autor enfatizou *o ensino de corpos de conhecimentos organizados estruturados ao redor de conceitos-chave e sugeriu as formas em que os professores poderiam estruturar o conhecimento para seus estudantes* (Ausubel, Ausubel e Robinson, Novak, Hanesian *apud ibid.*). Ausubel (*ibid.*) *começou com a suposição de que o conhecimento está organizado em estruturas hierárquicas, nas quais os conceitos subordinados são incluídos sob conceitos superordenados de nível superior*. Ainda assim, se detalhes forem gradualmente esquecidos, tende-se a recordar idéias-chave associadas a uma estrutura cognitiva particular e a reter essa mesma estrutura, que proporciona um suporte e apóia a retenção da informação, como um corpo de conhecimento organizado. Também funciona como um quadro, onde se interpreta o novo conhecimento relacionado ou se reaprende de maneira eficiente o conhecimento esquecido.

Mayer (*apud ibid.*) ampliou as idéias de Ausubel desenvolvendo técnicas de assinalação⁴⁵, que enfatizam a estrutura conceitual ou organizacional de uma passagem, para chamar a atenção dos aprendizes para as características estruturais das apresentações.

⁴⁵ Os quatro tipos de sinais são (Good, Brophy, 1997, p. 159):

- especificações da estruturas das relações;
- apresentações prematuras;
- declarações em resumo;
- palavras apontadoras ou indicadoras.

Ausubel (*apud ibid.*) propôs apresentar organizadores avançados⁴⁶: *conceitos superordenados dentro dos quais os aprendizes podem incluir o material novo e relacioná-lo com o material já conhecido*. Estes organizadores são úteis, em especial, quando o material não está bem organizado e os aprendizes carecem do conhecimento necessário para organizá-lo bem por si mesmos. Vários investigadores que compartilham a preocupação de Ausubel têm estudado outros fatores, tais como analogias⁴⁷, metáforas, exemplos e modelos concretos que ajudam os aprendizes a vincular conceitos novos com os familiares para desenvolver referentes concretos para os conceitos abstratos.

Ausubel enfatizou que a aprendizagem devia estar disponível para a transferência⁴⁸ a contextos novos. Além de ser capazes de recordá-lo e aplicá-lo dentro do contexto em que foi aprendido originalmente, os estudantes devem ser capazes de generalizar a aprendizagem a contextos de aplicação relevantes e aceder a ele e basear-se nele quando estendem sua aprendizagem a áreas novas. A transferência do conhecimento existente a situações novas simplifica a tarefa da aprendizagem nessas situações novas.

Em geral, os fatores de estruturação do texto enfatizados por Ausubel parecem ser importantes, em especial, para assegurar que os estudantes compreendam as idéias principais em uma apresentação e sejam capazes de transferi-las e aplicá-las depois. Encaixam bem com as idéias enfatizadas na atualidade a respeito do ensino de matérias escolares para a compreensão e uso do conhecimento.

• *Bruner e a busca disciplinar*. Este autor tem muito em comum com Piaget, incluindo a ênfase na importância da exploração ativa e na solução de problemas como uma forma preferível e natural de aprender (Wood *apud ibid.*, p.161). Também é pessimista a respeito da efetividade da intenção de ensinar os estudantes a manipular procedimentos abstratos (ex. aprender a resolver equações), sem estabelecer primeiro as conexões profundas entre estes procedimentos e o que representam⁴⁹. Entretanto, enquanto Piaget enfatizava a aprendizagem das crianças através da exploração do ambiente físico, Bruner enfatiza a aprendizagem na escola, em particular das

⁴⁶ Não são avanços ou resumos convencionais, que expõem os pontos fundamentais do texto principal de forma breve. Em vez disso caracterizam a natureza geral do texto e proporcionam conceitos superordenados, dentro dos quais podem ser incluídos.

⁴⁷ Ajudam a vincular o novo com o familiar.

⁴⁸ A transferência pode ser (Good, Brophy, p. 160):

- *vertical*, aplicação do conhecimento adquirido no processo de aprendizagem de habilidades de nível inferior para facilitar a aprendizagem de habilidades de nível superior;
- *lateral*, aplicação do conhecimento adquirido na aprendizagem do material de um domínio para facilitar a aprendizagem em outro domínio.

⁴⁹ As atividades implicadas na solução de problemas práticos concretos (Wood *apud* Good, Brophy, 1997, p. 161).

disciplinas⁵⁰ acadêmicas, não somente armazenam conhecimento importante perdurável, mas também por que introduzem as crianças a potentes formas de pensar que constituem habilidades importantes para aprender a aprender⁵¹. Assim, os estudantes deveriam desenvolver seu conhecimento realizando uma busca disciplinar⁵².

De acordo com Bruner, a chave para o êxito do ensino disciplinar⁵³ é traduzi-lo de maneira que os estudantes possam entender, pois crianças em diferentes etapas de desenvolvimento possuem formas características de ver e explicar o mundo. O autor propôs o *curriculum em espiral*⁵⁴.

Para Bruner, a aprendizagem mais significativa é a desenvolvida por métodos de descoberta orientada, que implicam proporcionar aos estudantes oportunidades⁵⁵ de manipulação de objetos em forma ativa para transformá-los pela ação direta, assim como por atividades que os animem a procurar, explorar, analisar ou processar, de alguma outra maneira, a informação que recebem, em vez de somente respondê-la. Por outro lado, ainda que os dados sobre a questão sejam irregulares (Ausubel, Robinson, Breaux, Hermann, Strike *apud* Good, Brophy, *op. cit.* p. 165), a aprendizagem por descoberta parece ser boa e útil, quando os estudantes tiverem motivação e as habilidades necessárias. A aprendizagem pela descoberta é essencial para objetivos que impliquem solução de problemas ou criatividade, pois na medida em que os estudantes trabalhem sozinhos, é importante selecionar atividades que lhes interessem ou que os estimulem para a realização das atividades planejadas. Esperando-se que os estudantes trabalhem de maneira colaborativa, é importante que estejam preparados para colaborar de forma produtiva.

⁵⁰ Duas das idéias de Bruner que têm atraído a atenção (Farnham-Diggory *apud* Good, Brophy, 1997, p. 162):

- a estrutura de cada disciplina inclui os princípios-chave que, uma vez entendidos, guiam o *insight* dentro de um campo como um todo;
- estes princípios podem ser ministrados de alguma forma, em qualquer etapa do desenvolvimento das crianças.

⁵¹ Observação cuidadosa, fazer comparações, analisar semelhanças e diferenças, etc..

⁵² Usar ferramentas próprias dos matemáticos para abordar problemas semelhantes aos deles, usar as ferramentas dos historiadores para abordar problemas como eles abordam e assim sucessivamente.

⁵³ Ao explicar isto, Bruner falou de três possibilidades para as pessoas “conhecerem” algo (Good, Brophy, 1997, p. 162):

- através da ação;
- do desenho ou imagem;
- de meios simbólicos mediados pela linguagem.

⁵⁴ Os estudantes são devolvidos aos mesmos temas gerais de maneira periódica, mas são encorajados a abordá-los em níveis de conhecimento, representação e análise diferentes.

⁵⁵ Em teoria, estas oportunidades, não somente incrementaram o conhecimento dos estudantes a respeito do tema em questão, mas estimulam sua curiosidade e os ajudam a desenvolver estratégias úteis, generalizadas para aprender a aprender e para descobrir conhecimento em outras situações.

2.3.5. Perspectiva humanista da educação.

Alguns educadores (Rogers, Rogers e Freiberg, Maslow e Arts Combs *apud* Woolfolk, 1996, p. 493) procuraram o ensino centrado no estudante. Não se identificavam sempre como construtivistas, apesar de desenvolverem filosofia e abordagem construtivistas. Entre os princípios básicos da abordagem humanista, acredita-se que cada pessoa cria sua própria realidade. O que cada um percebe como real e importante é a realidade para esse indivíduo e uma pessoa não pode conhecer completamente a realidade da outra. As interpretações humanistas sobre motivação⁵⁶ enfatizam suas fontes intrínsecas.

As abordagens humanistas sobre a educação enfatizam a importância dos sentimentos, a livre comunicação e os valores de cada estudante. A educação humanista é uma filosofia⁵⁷, mais que uma recompilação de estratégias. Purkey e Novak⁵⁸(*apud ibid.*) mencionam muitas ações que os professores podem levar a cabo para apoiar a auto-estima e fazer da escola um lugar atrativo. Uma abordagem associada à educação humanista é das *escolas abertas*⁵⁹, cuja investigação geral demonstra que estes ambientes promovem a criatividade, a cooperação, a auto-estima e a adaptação social, mas o rendimento acadêmico não é maior que o das aulas tradicionais (Giaconia, Hedges, Rothemberg *apud ibid.*).

⁵⁶ Tais como as necessidades de (Woolfolk, 1996, p. 333): “auto-realização”, “autodeterminação” e a “tendência à atualização” inata.

⁵⁷ Uma atitude de interesse a respeito dos estudantes (Woolfolk, 1996, p. 493).

⁵⁸ Revisar a obra, *Inviting School Success: A Self...Concept Approach to Teaching and learning*.

⁵⁹ Nas escolas abertas os estudantes se agrupam não por idade ou grau, mas por projeto ou atividade. A instrução é individualizada com o estudante que trabalha em estações de trabalho, em projetos individuais, ou de grupo. Com frequência os objetivos e as atividades são negociadas com o professor, que atua mais como um moderador que como um instrutor. Ocasionalmente, as mesmas aulas são abertas, sem muros, de maneira que os estudantes se podem mover com liberdade de uma área para outra. Grande parte da aprendizagem baseia-se em materiais de manipulação “*de prática*”. Os professores recorrem à observação dos alunos, às mostras de trabalho, aos procedimentos e à análise para caracterizar o ensino orientado e não para determinar qualificações (Giaconia, Hedges *apud* Woolfolk, 1996, p. 495).

2.3.6. *Perspectiva do ensino na biologia do amor*⁶⁰

Para Maturana (1994, p. 231):

organismo e meio mudam necessariamente de maneira harmoniosa enquanto o organismo viva; e se o meio for outro ser humano, dois seres vivos em interações recorrentes mudam juntos de maneira harmoniosa (...). Aquilo a que fazemos referência quando falamos de aprender, é o resultado de uma história de transformação harmoniosa, de dois ou mais sistemas que interatuam recorrentemente, visto da perspectiva dos distintos momento desta história.

Para Verden-Zöller (1994, p. 111):

cada criança percorre na sua infância um caminho de transformação, que vai de sua orientação para a mãe, ritmicamente regulada pela biologia própria da simbiose básica da relação materno-infantil, via intimidade e confiança do jogo corporal, passando pela consciência operacional corporal e pela construção do tempo e do espaço como um meio diferente do da mãe, à orientação para si mesmos na construção de um eu, que ocorre com a crescente e confiante independência da mãe, que surge com a construção do tempo e do espaço próprios e chega até o desenvolvimento da consciência social e o respeito pelo outro, que ocorre com a aceitação dos outros através da confiança em si mesmo, que surge no manejo do espaço e do tempo em uma relação de mútuo respeito e confiança com uma mãe independente.

Muitas das distintas formas de dinâmicas corporais, que emergiram com a história evolutiva que deu origem à humanidade, reaparecem na ontogenia do desenvolvimento físico e mental da criança. O jogo livre das crianças, ao surgir sem influência dos adultos, organiza-se espontaneamente com base nas formas inatas de ações, movimentos e percepções, que provêm da história evolutiva humana ou filogenia. Assim, as formas de jogo livre das crianças não são arbitrárias; são formas de dinâmicas corporais que se vinculam a territórios condutuais ancestrais, a expressões e a conexões entre o ser vivo e seu meio, cujas formas atuais são apenas transformações de formas arcaicas Verden-Zöller (1994, p. 111). *O futuro de um organismo nunca está determinado na*

⁶⁰ *Amor?. Amor-erótico, amor-ternura, amor-amizade, amor-respeito... Não, não existem amores distintos. As emoções existem na relação, não no corpo, ainda se realizem através dele. Assim desde a biologia, as distintas emoções são distintas disposições corporais dinâmicas que em cada instante especificam a classe de condutas relacionais que um organismo pode gerar nesse instante. E desde o ponto de vista do domínio onde elas de fato ocorrem, que é na relação, elas são distintos domínios relacionais que especificam o caráter das condutas que neles tem lugar. Nestas circunstâncias, o amor como emoção é um só e é o domínio das condutas relacionais em que o outro, ou o outro, surge como legítimo outro na convivência com alguém (Maturana, Bloch, 1996, p. 29).*

sua origem (Maturana, 1992a, p. 26). É partindo dessas concepções que se deve compreender e considerar a educação e o educar.

Para Maturana (*ibid.*):

o educar constitui-se em um processo no qual a criança ou adulto convive com o outro e nessa convivência com o outro, transforma-se espontaneamente, de maneira que seu modo de viver se faz progressivamente mais harmônico com o outro no espaço de convivência. O educar ocorre, portanto, todo o tempo; de maneira recíproca, como uma transformação estrutural contingente a uma história no conviver resultando que as pessoas aprendam a viver de uma maneira configurada segundo o conviver da comunidade onde vivem. A educação como “*sistema educacional*” configura um mundo e os educandos confirmam em seu viver, o mundo que viveram em sua educação. Os educadores, por sua vez, confirmam o mundo em que viveram ao ser educados no educar.

Segundo estes autores, a tarefa de formação humana é o fundamento de todo processo educativo, já que só assim, a criança pode viver como um ser responsável e livre, capaz de ver e corrigir erros, cooperar e viver uma conduta ética, para que desse modo a criança não se perca nas suas relações com os outros, não seja arrastada pelas drogas, ou pelo crime, pelo fato de não depender da opinião dos outros, nem precisar buscar sua identidade em coisas fora de si mesma.

A capacitação é um instrumento ou caminho na realização da tarefa educacional.

Uma criança que cresce respeitando-se pode aprender qualquer coisa, e adquirir qualquer habilidade que desejar. O normal é não existir limitação da inteligência como capacidade de consensualidade; todos os seres humanos, salvo situações extremas de alterações neurológicas, somente pelo fato comunicar-se através da linguagem são igualmente inteligentes. As dificuldades da inteligência surgem ou resultam, (se não existe dano neurológico de qualquer origem), de interferências na biologia do amor.

Para Maturana e Nisis (*op. cit.*, p. 25), *todos os seres humanos são especialistas na biologia do amor que consiste precisamente em que o professor ou a professora aceite a legitimidade dos seus alunos como seres válidos no presente, corrigindo somente seu fazer e não seu ser.*

Para que isto seja possível, o professor tem que respeitar-se, aceitar que não precisa justificar sua existência, o seu fazer, ainda que explique sua natureza ou os motivos para levá-los a cabo. A implementação do ensino na biologia do amor exige, por um lado, maior atenção na formação humana dos professores, por outro, a ampliação e o aprofundamento da sua capacitação, dos seus

afazeres e da reflexão sobre o que ensinam. Por isto é tão importante um maior compromisso do estado na conservação da dignidade dos professores, que necessitam de condições para poderem conservar o respeito por si mesmos e sua autonomia criativa.

2.3.7. Comparação das diferentes abordagens da educação

As diferenças entre as diversas perspectivas são sintetizadas no quadro 03.

Quadro 03: comparação das teorias X metodologias X ensino-aprendizagem

Paradigma	Metodologia	Ensino-aprendizagem
Comportamentalista (Teoria de Skinner e seguidores)	Aula expositiva. Demonstrações do professor à classe. Aplicação da tecnologia educacional, especialmente os módulos instrucionais.	Uma mudança relativamente permanente em uma tendência comportamental e/ou na vida mental do indivíduo, resultantes de uma prática reforçada.
Humanista (Teoria de Rogers e seguidores)	As estratégias e técnicas de ensino assumem importância secundária. Relação pedagógica com clima favorável ao desenvolvimento da pessoa e com liberdade para aprender.	Ensino centrado na pessoa (primado no sujeito, no aluno)
Cognitivista (Teoria de Piaget e seguidores)	Não existe modelo pedagógico piagetiano. As atividades principais seriam : jogos de pensamento para o corpo e sentidos, jogos de pensamento lógico, atividades sociais para o pensamento (teatro, excursões), ler e escrever, aritmética, ciência, arte e ofícios, música e educação física. Uso da aprendizagem por descoberta.	Assimilar o objeto e associá-lo aos esquemas mentais. Baseado no ensaio-erro, na pesquisa, na investigação e na solução de problemas.
Sócio-cultural (Teoria de Paulo Freire e seguidores)	Método de alfabetização que permite que alunos e professores utilizem elementos que realizam um distanciamento do objeto cognoscível.	Educação problematizadora ou conscientizadora. Superação da relação opressor-oprimido.

Fonte: Giraffa (1997, p. 53).

As perspectivas cognitivas e condutuais diferem nas suas suposições a respeito das maneiras de aprender. Na perspectiva cognitiva, o conhecimento é aprendido e suas mudanças tornam possíveis as mudanças na conduta. Na perspectiva condutual, as novas condutas são aprendidas como

tais (Shuell *apud* Woolfolk, 1996, p. 241). Tanto os teóricos condutuais, como os cognitivos consideram o reforço importante no conhecimento, mas possuem razões distintas. A perspectiva condutual estrita afirma que o reforço fortalece as repostas; os teóricos cognitivos consideram o reforço uma fonte de retroalimentação sobre o que é provável que aconteça, caso sejam repetidas as condutas.

A perspectiva cognitiva vê as pessoas como indivíduos ativos que aprendem, iniciam experiências, procuram informação para solucionar problemas e reorganizam o que já sabem para conseguir novos discernimentos. Em vez de estar sob uma influência passiva dos acontecimentos do entorno, as pessoas, ativamente, selecionam, praticam, prestam atenção, ignoram e tomam decisões diferentes, conformes a suas metas. As perspectivas cognitivas mais antigas enfatizavam a aquisição do conhecimento, mas as abordagens mais recentes destacam a construção do mesmo (Mayer *apud* *ibid.*).

Também é possível apreciar diferenças entre as perspectivas condutual e cognitiva nos métodos que cada grupo emprega para estudar a aprendizagem. Grande parte do trabalho sobre os princípios de aprendizagem condutual realizam-se com animais em condições controladas de laboratório. A meta é identificar umas quantas leis gerais da aprendizagem que se apliquem a todos os organismos superiores (isto é, aos humanos, sem importar idade, inteligência ou outras diferenças individuais). Por outro lado, os psicólogos cognitivistas estudam uma ampla variedade de situações de aprendizagem. Dado seu enfoque nas diferenças individuais e do contexto do conhecimento, não se procuram leis gerais da aprendizagem. Esta é uma das razões pelas que não existe um modelo cognitivo ou teoria da aprendizagem particular que represente toda a área.

2.4. Processamento, recordação e reestruturação do aprendido

Os teóricos do processamento da informação têm demonstrado que a aprendizagem implica no processamento, armazenamento e recuperação ativos da informação e que o ensino implica ajudar os aprendizes a desenvolver suas habilidades de processamento da informação e a aplicá-las de maneira sistemática quando dominam um assunto.

A seguir considerar-se-á o nível micro da investigações dos processos implicados na aprendizagem e na memória.

2.4.1. Abordagens associacionista e construtivista da memória

As teorias associacionistas⁶¹ da aprendizagem e da memória assumem que *a retenção da aprendizagem nova depende da natureza e da intensidade das associações entre a aprendizagem nova e a aprendizagem prévia armazenada na memória* (Good, Brophy, 1997, p. 177). Grande parte das investigações que apóiam as teorias associacionistas têm implicado aprendizagem decorada de informação de entrada, relativamente carente de significado e desconexa. Investigações mais recentes conduzem a teorias construtivistas⁶², nas quais os aprendizes são vistos, não apenas acessando associações, mas também *construindo significados mediante o processamento das novas informações de entrada, através de estruturas cognitivas existentes e logo transferindo-a para a memória de longo prazo, onde pode experimentar maior processamento e possível reconstrução* (*ibid.*). Para os construtivistas, o material armazenado na memória pode ser, não apenas elaborado ou distorcido, mas também retido tal como é, ou, em caso contrário, esquecido. Segundo Bartlett, quando se lêem histórias, empreende-se um “*esforço em busca de significado*”, procurando compreendê-las, conectando-as às estruturas cognitivas existentes denominadas *esquemas*⁶³. Dessa maneira, constrói-se um significado plausível e consistente, ainda que não seja o pretendido pelo autor. Pode haver distorção na aprendizagem original, em especial se a história contém elementos desconhecidos, apenas parcialmente compreendido (filtrando-os através de esquemas familiares). Além disso, as histórias construídas originalmente podem experimentar uma posterior reconstrução, caso ocorram mudanças nos esquemas com os quais foram conectadas. A maior parte das pesquisas que apóiam as teorias construtivistas implicam na aprendizagem significativa do discurso coerente, tipicamente o “*esforço em busca de significado*” na prosa escrita.

2.4.2. Modelos de processamento de informação.

Existem várias teorias da memória, estando entre as mais comuns as explicações do processamento de informação, onde se incluem as abordagens mais recentes das redes neurais ou com

⁶¹ Ebbinghaus (*apud* Good, Brophy, 1997, p. 177) desejava estudar a memória “pura” sem contaminação da aprendizagem prévia, evitando o discurso coerente e em seu lugar usando apenas sílabas sem sentido. Adotou as seguintes teorias:

- *enfraquecimento* do esquecimento - os rastros de memória simplesmente se desvanecem com o tempo.
- *Interferência* - o esquecimento é causado pela aprendizagem nova que interfere na capacidade para recordar aprendizagem anterior.

⁶² Bartlett (*apud ibid*) rechaçou os intentos de estudar a memória pura em favor do estudo da memória ocorrida na vida cotidiana, então rechaçou as sílabas sem sentido em favor de estímulos mais naturais, tais como rostos humanos, desenhos e discurso coerente.

⁶³ Os esquemas são estruturas de dados abstratos que organizam vastas quantidades de informação. Um esquema é um padrão ou guia para a compreensão um evento, conceito ou habilidade (Woolfolk, 1997, p. 251).

base conexionista⁶⁴ (Varela, 1996, p. 57). Os modelos de processamento de informação envolvem, frequentemente, diferenças a respeito das distintas classes de conhecimento.

Segundo Tulving (*apud* Good, Brophy, *op. cit.* p. 179) atinge-se a memória semântica⁶⁵ por meio de sistemas de codificação, armazenamento e recuperação e é diferente da memória episódica⁶⁶, rica em detalhes concretos e armazenada em forma de seqüências de eventos, ocorridos em lugares e momentos particulares, enquanto a memória semântica⁶⁷ caracteriza-se por ser mais abstrata e armazenada em termos de conceitos e princípios relacionados de maneira lógica, é codificada e armazenada em forma de abstrações verbais (definições de conceitos e declarações de regras e princípios), com imagens associadas ou vinculadas com experiências particulares.

A maioria dos teóricos da aprendizagem aceita um modelo geral com três etapas de processamento de informação humana, desenvolvido com a incorporação de alguns conceitos tomados emprestados das ciências da computação. O modelo em versões diferentes (Atkinson e Shiffrin, Kintsch, Klatsky e Loftus *apud* Good, Brophy, 1997, p. 181) propõe que a entrada de informação passa primeiro por um registrador sensorial, depois é processada na memória de curto prazo e então transferida para a memória de longo prazo e enfim, para seu armazenamento e recuperação potencial. Essas três etapas são vistas como sub-partes integradas de um sistema maior, que transforma a

⁶⁴Hebb (*apud* Varela, 1996, p. 57) sugeriu que a aprendizagem poderia basear-se em mudanças cerebrais que surgem do grau de atividade correlacionada com as neuronas: se duas neuronas têm a tendência de atuar em conjunto, sua conexão é reforçada; caso contrário, diminui. Portanto, a conectividade do sistema torna-se inseparável da sua história de transformação e relaciona-se com a classe de tarefa que se propõe ao sistema. Como a verdadeira ação se produz no nível das conexões, propôs-se para esta linha de pesquisa, o nome de conexionismo.

⁶⁵Conhecimento armazenado e codificado em forma de proposições verbais (informação baseada na linguagem) (Good, Brophy, 1997, p. 179).

⁶⁶Implica impressões armazenadas de experiências pessoais (episódios) na vida de alguém (Good, Brophy, 1997, p. 179).

⁶⁷Para Varela (1996, p. 97), existe um conceito “fraco” de representação. Este conceito é *puramente semântico: refere-se a tudo o que possa se interpretar como sendo a respeito de algo*. É o conceito da representação como “*interpretação*”, pois nada se pode dizer a respeito de determinada coisa, se não se interpretá-la de alguma maneira. Este conceito de representação é “*fraco*” por que não comporta, necessariamente, nenhuma implicação epistemológica ou ontológica forte. Também é totalmente aceitável pensar que um enunciado representa um conjunto de condições, sem se perguntar se a linguagem em conjunto funciona deste modo, ou se existem fatos no mundo separados da linguagem, que logo possam ser representados por orações da linguagem. Em outras palavras, o conceito “fraco” de representação é pragmático; é usado frequentemente sem preocupação. A obviedade de tal idéia converte-se num conceito tão mais forte de representação, que se adquire fortes implicações ontológicas e epistemológicas. Este conceito “*forte*” surge quando se generaliza a base do conceito mais fraco para elaborar uma teoria cabal a respeito do funcionamento da percepção, da linguagem ou da cognição. As implicações ontológicas e epistemológicas são basicamente duplas: aceitar-se que o mundo esteja predefinido, é aceitar que seus traços estejam pré-definidos ante toda atividade cognitiva. Para explicar a relação entre esta atividade cognitiva e um mundo predefinido, considera-se a existência de representações mentais dentro do sistema cognitivo (imagens, símbolos ou padrões sub-simbólicos de atividades distribuídas por redes). Constitui-se, assim, uma teoria cabal que estabelece que (*ibid.*): *o mundo é pré-definido; a cognição apreende este mundo ainda que seja de forma parcial; e o modo como se conhece este mundo pré-definido consiste em representar seus traços e logo atuar sobre a base das representações.*

informação sensorial crua em formas mais apropriadas para a integração com o conhecimento prévio. Todo isto ocorre sob o controle da pessoa, cuja atenção determina quais aspectos da entrada, disponíveis em qualquer momento, serão processados pelo sistema, que possui uma capacidade limitada. Um dos modelos mais clássicos da memória é o proposto por Atkinson e Shiffrin (*apud* Woolfolk, *op. cit.*, p. 244), que a despeito de alguns aspectos contestados, é útil para se compreender as concepções atuais da memória; “*este modelo distingue três registros diferentes*” (Gaonac’h, Passerault, 1995, p. 50):

- *memória de Longo termo.* São informações armazenadas na memória de maneira permanente, que podem ser recuperadas em qualquer circunstância. A quantidade de informações assim armazenadas pode ser muito importante⁶⁸. Elas possuem uma duração de vida quase ilimitada⁶⁹ e são de natureza muito diversa: desde os gestos mais elementares⁷⁰, até aos conhecimentos de alto grau de abstração. Os estudos a respeito do armazenamento de material na memória de longo prazo e conseqüências desse fato, são tratados pela teoria das redes semânticas⁷¹ e pela teoria dos esquemas⁷². A maioria dos psicólogos cognitivistas distinguem três categorias de memória a longo prazo, a saber (Woolfolk, *op.cit.* p. 250): *semântica*⁷³, *episódica*⁷⁴ e *procedural*⁷⁵. A informação é recuperada da memória de longo termo por meio da *extensão da ativação*⁷⁶, conforme uma lembrança ativa outra informação a ela relacionada. A lembrança é um processo de reconstrução que leva a uma recordação

⁶⁸ O conjunto de conhecimentos possuídos pelas pessoas.

⁶⁹ Conhecimentos de base, tais como as tábuas aritméticas, estão disponíveis toda a vida, salvo acidente, doença ou dano devido à idade...

⁷⁰ Entre os humanos, a marcha é aprendida e a coordenação dos movimentos correspondentes supõem uma memória, em geral, disponível até a morte.

⁷¹ São teorias da organização da memória que assumem que os conceitos são armazenados na memória de longo prazo dentro das redes de associação significativa organizadas de maneira hierárquica (Anderson, Bower; Collins, Loftus; Kintsch; Rumelhart, Lindsey, Norman *apud* Good, Brophy, 1977).

⁷² Esquemas, teorias da organização da memória, sugerem as tentativas de encontrar sentido em certas situações, conduzidas por conjuntos de conhecimentos prévios relacionados (esquemas), que constituem modelos que descrevem o que esperar da situação e das relações entre seus elementos, etc. Os conjuntos de conhecimentos prévios relacionados, que proporcionam contexto para a interpretação significativa da entrada nova, são geralmente denominados *esquemas* (Rumelhart, Norman; Anderson; diSibio *apud* Good, Brophy, 1997), *roteiros* (Schank, Abelson *apud* *ibid.*) ou *quadros* (Minsky; Winograd *apud* *ibid.*).

⁷³ É a memória para significado. Estas lembranças se armazenam como proposições, imagens e esquemas (Woolfolk, 1996, p. 250).

⁷⁴ Martinalde (Woolfolk, 1996, p. 250) distingue entre a memória semântica e a memória episódica como segue: *a memória semântica contém os elementos básicos do conhecimento e a memória episódica constitui-se destes elementos. A memória semântica é como um dicionário que contém os significados de todas as palavras e imagens que conhece. A memória episódica é como uma novela ou filme que integra estes conceitos em formas particulares.*

⁷⁵ Memória de longo termo indica como fazer as coisas. Está organizada como uma rede de relações ordenada e lógica. As memórias procedurais representam-se como regras de condição e ação, às vezes conhecidas como produções que especificam as regras a respeito das ações que devem ser levadas a cabo, dadas certas condições.

⁷⁶ Extensão da ativação: recuperação de partes de informação, com base na sua relação entre si. Lembrar um *bit* de informação ativa (estimula) a lembrança de informação associada.

precisa, parcialmente precisa ou imprecisa. A precisa recuperação depende do grau em que a informação está elaborada, organizada ou integrada num contexto. Ao que parece, a informação perde-se na memória de longo termo pela deterioração temporal e pela interferência⁷⁷.

- *memória de Curto termo*. Uma vez que informações da memória sensorial transformem-se em padrões de imagens ou sons (ou outras classes de códigos sensoriais), podem entrar no sistema de memória de curto termo que permite armazenar uma quantidade limitada de informação. Para melhor memorização de um grupo extenso de informações, podem-se organizá-las em categorias reagrupadas através de técnicas elementares, como a classificação em ordem alfabética ou em letras foneticamente semelhantes. A memória de trabalho é um aspecto particular e muito importante do funcionamento da memória de curto termo, relativo às atividades mentais que não possuem por objetivo a memorização de informações, mas que implicam, para sua eficácia, a memorização. As atividades mentais supõem um apelo a uma memória provisória, susceptível de armazenar durante alguns instantes algumas informações úteis ao bom desenvolvimento das atividades e estão ligadas a uma característica maior das atividades humanas: nunca são instantâneas e desenvolvem-se no tempo. A informação pode perder-se desta memória pela interferência⁷⁸ ou deterioração⁷⁹.

- *memória sensorial*⁸⁰. Corresponde a uma espécie de *remanescência* de informações, que chegam aos órgãos dos sentidos: durante uma breve duração, o conjunto das informações disponíveis de uma modalidade dada são utilizáveis tais como se apresentam, desaparecendo rapidamente. Dito de outra forma, não são acessíveis ao sujeito, exceto durante o tempo necessário a um tratamento elementar, ou seja, tratamentos que conduzem à seleção das informações, pertinentes a uma situação dada (são os tratamentos em relação a isso que nós denominamos habitualmente de atenção).

A memória de futuro é utilizada para a realização de atividades, como por exemplo a emissão de uma frase, cujas características a serem ditas em seguida precisam ser estruturadas na memória antecipadamente, mesmo que este futuro seja de apenas alguns segundos.

A figura 02 mostra uma representação gráfica da memória, tratada como três sistemas conforme proposto por Varela e o quadro 04 mostra os registros e dimensões do modelo de Atkinson e Shifrin.

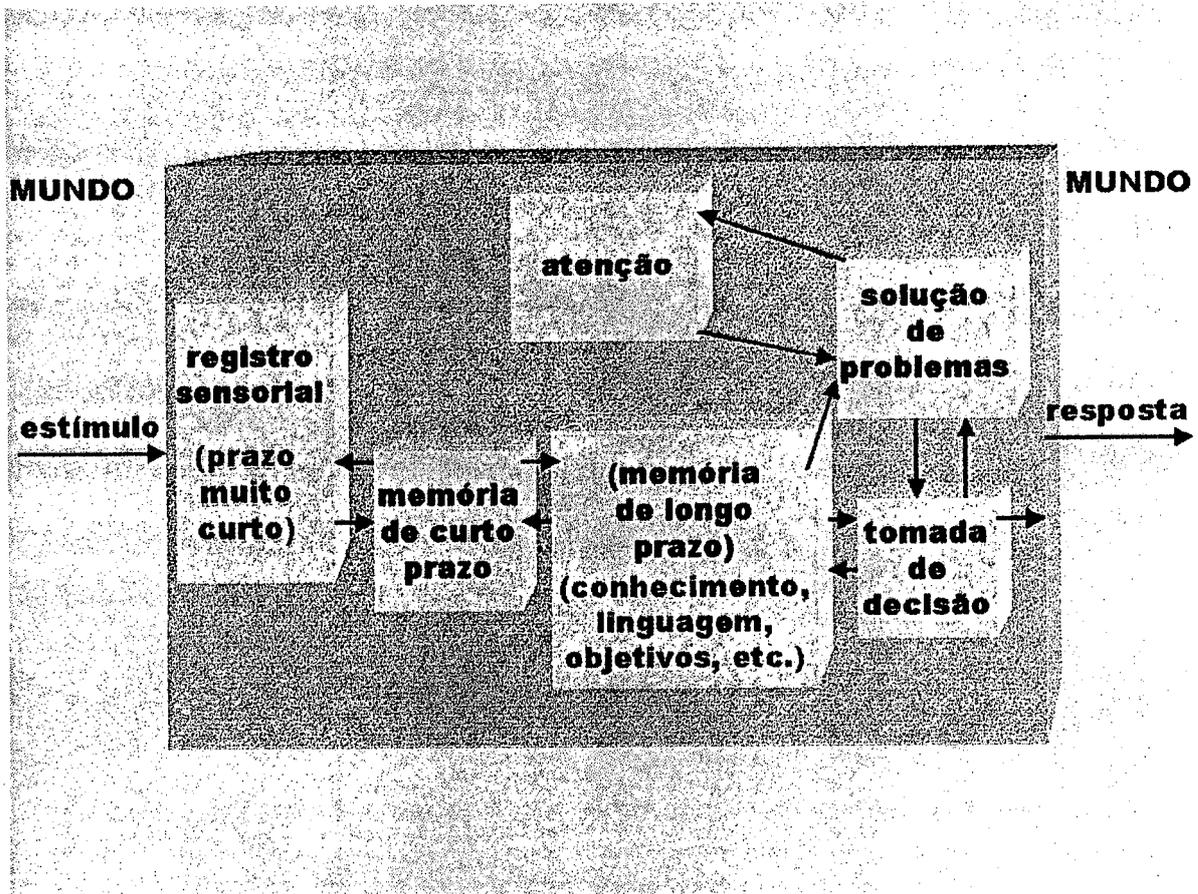
⁷⁷ As lembranças mais recentes podem interferir ou obscurecer lembranças anteriores, e as lembranças mais antigas podem interferir na recuperação de novas informações.

⁷⁸ A interferência é bastante direta: lembrar informação nova interfere ou obscurece a recordação da informação antiga e o pensamento substitui o antigo.

⁷⁹ Deterioração: debilitação ou desaparecimento das lembranças com o passar do tempo.

⁸⁰ Conhecida também como *registro sensorial* ou *armazém de informação sensorial*.

Fig. 02: Três sistemas de memória.



Fonte: Varela (1997, p. 134).

Quadro 04 : Resumo do modelo: três registros, quatro dimensões

	Memória Sensorial	Memória curto termo	Memória longo termo
Capacidade	Grande quantidade de elementos	Muito limitada (poucos elementos)	Ilimitada
Duração de manutenção das informações	Muito curta (de ordem de segundos)	Alguns segundos (por mais tempo se a atenção é mantida)	Permanente
Perda de informações	Declínio espontâneo	Trocado por outras Informações	Acesso impossível ou Difícil (reconhecimento Possível)
Natureza do código das informações	Código sensorial, conforme a modalidade de apresentação	Principalmente fonético; Códigos visuais e semânticos possíveis	Principalmente semântica e conceptual

Fonte : Gaonac'h e Passerault (1995, p. 50).

Do ponto de vista do funcionamento cognitivo, a diferença entre conhecimento e representação reside no fato de os conhecimentos necessitarem de ativação para serem eficientes,

enquanto as representações já são eficientes, por que constituem o conteúdo da memória operacional, a saber, as informações gravadas na memória de trabalho e as informações ativas da memória de longo termo⁸¹. Os conhecimentos, ao contrário, são gravados na Memória de Longo Termo (MLT). Nem todas as informações da MLT estão disponíveis; só as que possuem um nível de ativação suficiente ou que sejam objeto de uma busca bem sucedida da memória.

A arquitetura funcional do sistema cognitivo é uma descrição estática de suas diferentes funções e das relações entre estes elementos, e pode ser encontrada em Richard (1990).

2.4.3. Metacognição, autoregulação e diferenças individuais

Os processos de controle executivo são também conhecidos como *habilidades metacognoscitivas*. Metacognição⁸² significa, literalmente, conhecimento sobre cognição. Para Meichembaum, *et. al.* (*apud* Woolfolk, *op. cit.*, p. 261) a metacognição é a “*consciência*” das pessoas “*de sua própria maquinaria cognitiva e da maneira como esta funciona*”. Já que as pessoas diferem nos seus conhecimentos e aptidões metacognitivas, diferem na qualidade e rapidez da aprendizagem. Algumas diferenças nas habilidades metacognitivas se devem ao desenvolvimento. Conforme as crianças crescem são mais capazes de exercer controle executivo e usar estratégias⁸³. As crianças mais velhas usam automaticamente técnicas mais eficientes⁸⁴ que as crianças mais novas para memorizar informação (Flavey, Presley *apud ibidem.*). Nem todas as diferenças nas habilidades metacognitivas estão relacionadas com a idade ou o amadurecimento. Existe uma grande variabilidade ainda entre estudantes com o mesmo nível de desenvolvimento. Algumas dessas diferenças são consequência, talvez, das diferenças biológicas ou das variações nas experiências de aprendizagem, como por ex., a variação no grau de concentração sobre as informações do meio. A atenção também recebe a influência das habilidades e preferências de aprendizagem, estilos cognitivos e antecedentes culturais. A seguir serão analisadas algumas das diferenças individuais nas habilidades metacognitivas que afetam as memórias a curto e longo prazo:

⁸¹ As informações na memória operacional são aquelas que estão disponíveis para a tarefa e para os tratamentos referentes: elas são mantidas ativas durante o desenvolvimento da tarefa.

⁸² Implica pelo menos dois componentes separados (Flavell, *apud* Woolfolk, 1996, p. 262):

- conhecimento declarativo e procedural das habilidades, estratégias e recursos necessários para levar a cabo uma tarefa – saber o quê fazer e como fazê-lo -, e;
- conhecimento condicional para assegurar a conclusão da tarefa – e saber quando realizá-la -.

O uso destas habilidades regulatórias e metacognitivas é conhecido como *supervisão cognitiva*.

⁸³ São mais capazes de determinar compreenderam bem as instruções (Markman *apud* Woolfolk, *op. cit.* p. 261), ou se estudaram o suficiente para lembrar um conjunto de conceitos (Flavell, Friedrichs, Hoyt *apud ibid.*)

⁸⁴ As habilidades metacognitivas começam a desenvolver-se ao redor dos 5-7 anos de idade e se desenvolvem ao longo da atividade escolar. A maioria das crianças passa por um período de transição em que podem aplicar uma estratégia particular, se forem lembrados, mas não por si mesmos (Graner *apud* Woolfolk, 1996, p. 262).

• investigações indicam que as crianças mais novas possuem a memória de trabalho muito limitada, mas a duração da memória aumenta com a idade. Não fica claro se estas diferenças se devem a mudanças na capacidade da memória ou a melhoras no uso das estratégias. Case (*apud* Woolfolk, *op. cit.* p. 262) sugere que a quantidade total de “*espaço*” disponível para o processamento de informação é a mesma em cada idade, mas que as crianças novas devem usar um pouco deste espaço para recordar como executar operações básicas⁸⁵. Usar uma operação nova requer um pouco da memória de trabalho da criança. Mas uma vez que domina a operação, libera mais memória de trabalho disponível para armazenamento a curto prazo de informação nova. Aspectos biológicos também podem ter certa influência, pois conforme o cérebro e o sistema neurológico da criança amadurecem, o processamento pode ser mais eficiente, de maneira que exista mais espaço disponível na memória em funcionamento. De acordo com Case (*apud ibid.*), as crianças novas frequentemente utilizam estratégias razoáveis, porém incorretas para resolver problemas, devido a sua memória limitada⁸⁶. Existem vários níveis de desenvolvimento conforme os estudantes utilizam a organização, a elaboração e o conhecimento para processar informação na memória de trabalho⁸⁷. Além dessas diferenças no desenvolvimento, existem outras variações individuais na memória de curto prazo. Algumas pessoas parecem ter memórias a curto prazo mais eficientes que outras (Dempster *apud ibid.* p. 263) e as diferenças na memória de trabalho podem ser associadas com os dotes nas áreas matemáticas e verbais.

• a principal diferença individual que afeta a memória de longo prazo é o conhecimento. Quando os estudantes possuem mais conhecimento declarativo e procedural específico para uma área de domínio mostram-se melhores para apreender e lembrar o material dessa área.

2.5. Conclusões

Maturana e Varela (1972) propõem que os organismos vivos, incluindo os humanos, não tomam, simplesmente, informações do exterior; antes, reagem às “*perturbações*” do meio ambiente através das adaptações das estruturas interiores. A interação com o meio ambiente não efetua adição direta de “*ingredientes*” na estrutura física de um organismo e nem símbolos na sua estrutura mental, mas causa trocas qualitativas e quantitativas nestas estruturas já existentes. A habilidade para detectar as perturbações e a classe de troca estrutural que elas produzem é determinada pela *filogenia* das espécies e pela história das adaptações individuais ou *ontogenia* (Maturana, Varela, 1992). A

⁸⁵ Alcançar um brinquedo, encontrar uma palavra correta para denominar um objeto ou contar.

⁸⁶ Tratam de simplificar a tarefa ao ignorar informação importante ou saltar passos para chegar a uma solução correta.

⁸⁷ Ao redor dos 6 anos de idade, a maioria das crianças descobre o valor de usar *estratégias organizacionais* e mais ou menos a idade de 9 ou 10 anos utilizam estas estratégias de maneira espontânea (Woolfolk, 1996, p. 263).

interpretação e a representação (simbolização) do mundo dependem das adaptações estruturais, em função da interação com as perturbações de um meio simbólico e real. Os humanos se comunicam, usualmente, com quaisquer outros, de maneira simbólica. A comunicação se torna possível através do que Maturana e Varela (1992) chamam de “*acoplamento estrutural*”. Os organismos de espécies semelhantes possuem, basicamente, aparelhos semelhantes para detectar perturbações e adaptar-se a elas. Além disso, eles habitam meio-ambientes semelhantes e provavelmente estão propensos a encontrar perturbações semelhantes. Como resultado, a história de suas adaptações estruturais podem ser similares. Suas estruturas são “*acopladas*”, por isso é possível a comunicação com outros seres humanos. Segundo Vygotsky (1994), para tornar a comunicação possível, deve-se ter uma aproximação a respeito dos significados dos símbolos. A negociação entre membros de um grupo sobre um significado se estabelece mediante um compromisso (Flores, Winograd, 1989) e pode resultar em concordâncias somente temporárias. Searle (1995), tendo proposto o problema do significado, volta-se para a estrutura dos atos da linguagem. Ao fazê-lo, aponta a teoria do ato da fala, como desenvolvida por Austin (*apud* Flores, Winnograd, 1989).

A perspectivas condutuais da aprendizagem contribuíram no desenvolvimento de tecnologias para a condução das aulas e realização da instrução. As máquinas de ensino, a instrução programada e a instrução computadorizada estão entre as tecnologias desenvolvidas, ao menos em parte, baseadas nestas idéias.

Existe, atualmente, um grande desafio para a perspectiva do processamento de informação – perspectiva construtivista –. Os trabalhos dos psicólogos da Gestalt, Piaget, Vygotsky, Bruner Bartlett e Dewey, enfatizam a construção ativa do significado por parte do indivíduo. Este enfoque, ao contrário de postular a memorização da informação, postula a criação de significado e construção de conhecimento. Muitas perspectivas construtivistas também consideram o contexto social como um dos fatores fundamentais do saber que as pessoas adquirem a respeito de si mesmas e do mundo.

Analisada a explicação do processamento de informação, da representação do conhecimento na memória, e finalmente, das diferenças individuais dos estudantes, podem-se fazer a seguintes interrogações: como é que os ambientes de aprendizagem podem ajudar os estudantes a aprender e recordar melhor?. Como podem os ambientes de aprendizagem apoiar o desenvolvimento dos conhecimentos e habilidades dos estudantes?.

3 O ENSINO AUXILIADO POR COMPUTADOR : ESTADO DE ARTE

3.1 Histórico dos desenvolvimentos

O ensino auxiliado por computador teve três gerações e, com o advento da Realidade Virtual (RV), está entrando na quarta.

- A “*primeira geração*” baseava-se na teoria comportamentalista, implementando as abordagens tradicionais do planejamento instrucional. As premissas subjacentes a esta “*primeira geração*” da educação auxiliada por computador foram (Winn, 1993, p. 5):

- ▶ para Reigeluth (*apud ibid.*), o comportamento do estudante é predizível, se o conhecimento acerca do resultado, pretendido na instrução dos métodos empregados e sobre as condições sob as quais este ocorre é suficiente;

- ▶ para Landa (*apud ibid.*), o conhecimento e habilidades dos estudantes que estão além do mestre podem ser padronizados e reduzidos, através de técnicas analíticas apropriadas para componentes “*atômicos*”. A aprendizagem do que se quer, em agregação, produzirá o comportamento pretendido;

- ▶ segundo Gagné e Dick (*apud Good, Brophy, 1997*), a teoria instrucional prescritiva é suficientemente confiável para que os procedimentos de projeto instrucional assegurem que a instrução, desenvolvida pela sua aplicação sistemática, trabalhará efetivamente sem a intervenção adicional dos projetistas ou professores. Os argumentos desta hipótese foram seriamente refutados em uma variedade de formas por Streibel (*apud Winn, 1993*) e Winn (1993). Apesar disso, a grande idéia da educação assistida por computador, até agora, continua seguindo esta abordagem baseada nos procedimentos tradicionais do projeto instrucional.

- A “*segunda geração*” do ensino auxiliado por computador sofreu algumas mudanças de ênfase: centrada no conteúdo do projeto instrucional, evoluiu para o modo como a informação é apresentada aos estudantes (Flemming e Levie *apud Winn, 1993, p.5*). Esta mudança, resultante da percepção do modo como os estudantes processam a informação, tem um impacto maior naquilo que eles aprendem do que na precisão da redução da tarefa e da prescrição de estratégias

instrucionais baseadas no conteúdo ensinado. A focalização no projeto de mensagens instrucionais foi resultado da percepção de alguns psicólogos de que a teoria comportamental tem uma concepção incompleta do aprendizado humano, conduzindo a uma prescrição inadequada para estratégias instrucionais e de que as teorias cognitivas de aprendizagem humana e instrução são fontes mais satisfatórias aos projetistas instrucionais, que projetam formas de orientação ao invés de induzirem as formas de comportamento. A emergência da segunda geração teve uma significativa impulsão a partir das considerações feitas por Gardner (*apud ibid.*), de que dois estudantes não são semelhantes em sua constituição psicológica, por Cronbach e Snow (*apud ibid.*) de que algumas vezes estas diferenças individuais entre estudantes são suficientemente importantes a ponto de requerer a prescrição de métodos instrucionais diferenciados que considerem suas aptidões e, segundo Tobias (*apud ibid.*), *também suas habilidades.*

- A “terceira geração” do ensino auxiliado por computador surgiu da crença de que a natureza da interação entre o estudante e a instrução é determinante na aprendizagem, de igual ou maior importância que o conteúdo ou a maneira como a informação é apresentada. Esta orientação é fortemente baseada na ciência cognitiva. Na verdade, teorias cognitivas tais como a ACT (Anderson *apud* Guin, 1991, p. 253), têm formado as bases apropriadas para todas as tentativas de desenvolver um tutor “inteligente”, baseado em computador, altamente interativo como o proposto por Wenger (*apud* Winn, *op. cit.*). Uma das mais fortes e recentes expressões desta abordagem é a de Merrill (*apud* Good, Brophy, 1997, p. 218.), “*Instructional Transaction Theory*”, baseada na idéia de que toda aprendizagem resulta da interação (“*transação*”) entre o estudante e o programa.

Uma abordagem de ensino auxiliado por computador que aposta em um entendimento do modo pelo qual o estudante interage com os recursos de aprendizagem, parece primeiramente um pequeno passo para a hipótese da “quarta geração”, na qual o conhecimento é construído pelos próprios estudantes e não fornecido pelos recursos de aprendizagem. Bartlett (*apud ibid.* p. 178) foi o primeiro a propor que o aprendizado ocorre quando a pessoa constrói os “*esquemas*” que representam seu mundo. Neisser (*apud* Winn, *op. cit.*) sugere que os esquemas guiam a forma como as pessoas procuram a informação no meio, orientando-as para antecipar o que elas podem encontrar. Recentes teorias da construção do conhecimento estão baseadas na teoria cognitiva como as das obras de Spiro (*apud* Woolfolk, 1996) “*Cognitive Complexity Theory*” e Bransford (*apud* Good, Brophy, 1997) “*Anchored Instruction*”.

As considerações de aprendizagem providas pela Ciência Cognitiva são construídas em torno de idéias como a de que a mente humana trabalha de forma semelhante a um computador e que a cognição consiste na manipulação mental de símbolos (Varela, 1996, 1997). Marr (*apud* Winn, *op. cit.*), no seu *seminal* trabalho sobre a visão, baseia-se na premissa de que o cérebro é demasiado

complexo para ser entendido e que, portanto, é necessário explicar a cognição por meio de computações baseadas em funções matemáticas que possam conter o modelo de processo cognitivo.

O criticismo na Ciência Cognitiva apontou, particularmente, para a metáfora computacional da mente humana e para as inevitáveis conseqüências desta suposição, ou seja, a cognição depende das estruturas e funções simbólicas. A presença das interfaces computacionais limitam as experiências dos estudantes em experiência de “terceira pessoa”. O corolário é de que a atividade psicológica na primeira pessoa, não-reflexiva, não-simbólica, que ocorre quando a pessoa interage diretamente com mundos reais ou virtuais, não tem lugar nas teorias da Ciências Cognitivas (Winn, 1993, p.7). Esta é uma omissão fatal conforme os construtivistas e críticos da ciência cognitiva em geral (Dreyfus, Edelman, Searle *apud ibid.*).

O construtivismo descreve os modos de conhecimento e o processo de constituição das estruturas e funções cognitivas e os processos de aprendizagem correlatos. Enquanto estas considerações não se constituíam em uma teoria unificada, as três hipóteses seguintes acerca da construção do conhecimento, forneciam as bases para guiar e projetar as experiências de aprendizagem e aplicações da Realidade Virtual (RV).

- Os construtivistas tal como Cunningham (1993 *apud* Woolfolk, 1996, p. 483) têm sido especialmente influenciados pelos trabalhos de Maturana e Varela (1972), Thompson e Rosch (*apud* Woolfolk, 1996) segundo o qual que os organismos vivos, incluindo os humanos, não tomam informação do exterior, mas reagem às “perturbações” do meio ambiente através de adaptações das estruturas existentes dentro deles. A interação com o meio ambiente não efetua adição direta de “ingredientes” na estrutura física de um organismo e nem símbolos na sua estrutura mental, mas causa trocas qualitativas e quantitativas nestas estruturas já existentes. A habilidade para detectar perturbações e a classe de troca estrutural que elas produzem está determinada pela filogenia (Maturana, Varela, 1992, p. 69) das espécies e a história das adaptações individuais ou ontogenia (*ibid.* p. 67). A interpretação e a representação (simbolização) do mundo dependem das adaptações estruturais em função da interação com as perturbações de um meio simbólico e real.

- A construção de cada ser é única. O morcego, por exemplo, está melhor equipado do que os humanos para se adaptar a muitas perturbações em seu meio ambiente. Nagel (*apud* Winn, *op. cit.*) apontou que nós somos capazes de construir uma descrição, em terceira-pessoa, do aparelho sensorial e de processamento de informação do morcego, mas nós nunca poderemos saber em primeira-mão como o morcego sente. *O mesmo se dá entre os humanos que usualmente se comunicam com qualquer outro, fazendo-o de maneira simbólica. Isto significa que a experiência de um, com o mundo de qualquer outro, pode ser somente a experiência de uma descrição daquele mundo em terceira-pessoa* (Winn, *op. cit.*, p. 7).

• As duas suposições prévias levam o construtivismo ao solipsismo. Se as pessoas são informacionalmente fechadas (Maturana, Varela, 1992, p. 109) e se o mundo objetivo não é padrão, então estão fadadas à impossibilidade de comunicação com o outro. Entretanto, a comunicação torna-se possível por causa do “*acoplamento estrutural*” (*ibid.*, p. 49). Os organismos de espécies semelhantes possuem aparelhos semelhantes para detectar e adaptar-se às perturbações. Além disso, eles habitam meio-ambientes semelhantes e provavelmente propensos a encontrar semelhantes perturbações. Como resultado, a história de suas adaptações estruturais podem ser similares. Suas estruturas são “*acopladas*”, por isso podem comunicar-se com outros seres humanos.

Segundo Vygotsky (*apud* Woolfolk, 1996), para tornar a comunicação possível, deve-se ter uma aproximação do significado dos símbolos. A negociação entre membros de um grupo sobre um significado pode conduzir a compromissos e resultar em concordâncias somente temporárias. Por isso, segundo Mc Mahom & O’Neil (*apud* Winn, *op. cit.*), freqüentemente insiste-se na prática construtivista, em prover oportunidades para o aprendizado que requeiram dos estudantes trabalhos em grupos para chegarem a um consenso a respeito dos significados.

Ambientes nos quais os estudantes possam construir conhecimento precisam ser criados. Proponentes de aprendizagem ambientada recomendam a instrução (Brown, Collins e Duguid; Brown e Duguid; Lave e Wenger *apud ibid.*) e a prática reflexiva (Schon *apud ibid.*) como método para permitir aos estudantes a construção de conhecimentos a partir de atividades “*autênticas*”. Kozma (*apud ibid.*) insiste no ponto, segundo o qual a tecnologia pode criar ambientes de aprendizagem que não poderiam ser criados com estratégias tradicionais, e esta é a qualidade que o faz superior a outros métodos pedagógicos. A emergente “*quarta geração*” da educação baseada em computador é, portanto, fundamentada nas teorias construtivistas de aprendizagem.

Nessa perspectiva é que o projeto físico e de interface de *software* tem, hoje em dia, os seguintes objetivos (Salzman, Dede, Loftin, 1995, p. 2): *suporte para aprendizagem-por-fazer; fornecer feedback multisensorial, interação multimodal e múltiplas perspectivas; salientar os fatores que influenciam o comportamento dos objetos e a atenção direta para estes; facilitar a suavidade da interação e motivar os aprendizes.*

3.2 Filosofias educacionais baseadas na tecnologia do computador

A questão central de sistemas inteligentes auxiliares da aprendizagem é a adaptação destas experiências para as necessidades individuais do aprendiz. Esta questão geral pode ser abordada em variadas e diferentes formas de promover esta adaptação, de acordo com as diferentes filosofias educacionais. Atualmente, as abordagens de planejamento instrucional, construtivista, construcionista

e sócio-cultural, estão influenciando o projeto de tecnologia instrucional baseado em computador, e serão exploradas a seguir.

3.2.1 O Planejamento Instrucional

Existem, segundo Watson (*apud* Freinet, 1989, p. 27), o criador do *behaviorismo*, várias maneiras de ensinar: *por tentativa, por imitação, por educação*; mas todos estes métodos convergem em absoluto para o primeiro: *o método dos ensaios e dos erros*. Na presença de uma situação nova para a qual, no seu repertório reacional, não possui a resposta inteiramente apropriada pronta, o organismo animal ou humano executa uma sucessão de movimentos variados. Por força de variar as respostas, o organismo realiza casualmente a resposta exata. Na medida em que as repetições da situação - movimentos incorretos que precedem a resposta correta - são cada vez menos numerosas, a resposta correta produz-se cada vez mais cedo e acaba por ser a única executada na apresentação da situação. Em virtude de que lei ou de que tendência emerge a resposta correta do conjunto das tentativas?. Os defensores destas idéias não responderam a isto.

O exemplo mais característico desta corrente é a teoria da aprendizagem desenvolvida por Skinner (*apud* Woolfok, 1996), e seus colegas. Para eles, basta colocar o aluno em uma situação onde ele seja levado a produzir efetivamente o comportamento desejado (por *imitação, modelagem progressiva, ...*) e de recompensar sistematicamente a produção de comportamentos que se quer instalar no aluno. Skinner desenvolveu uma engenharia da aprendizagem, fundada sobre os princípios que colocou em evidência, em situações de laboratório. Desejava criar um domínio de aplicação específica, fundada sobre leis gerais. Gagné (1980) dedicou o seu estudo ao aspecto do *Treinamento Prático*. Este autor observa, como ponto fundamental para a viabilização da aprendizagem, a relação entre os processos internos de cognição e os eventos externos ao estudante. Gagné fundamenta seu pensamento na Teoria de Processamento de Informação.

Gagné (1974, p. 28) descreve 8 séries de condições que distinguem oito tipos de aprendizagem¹, denominadas respectivamente de: *Motivação, Apreensão, Aquisição, Retenção, Memorização, Generalização, Desempenho e Feedback*. Estas fases de aprendizagem apresentam sua ocorrência influenciada por eventos que podem tanto ser de origem interna como externa ao ser humano (estudante).

¹ Aprendizagem de sinais, aprendizagem de tipo estímulo-resposta, aprendizagem em cadeia, aprendizagem de associações verbais, aprendizagem de discriminações múltiplas, aprendizagem de conceitos, aprendizagem de resolução de problemas.

De acordo com Cagné, *instrução é um conjunto de eventos externos ao aprendiz, designados para suportar o processo interno de aprendizagem. Considera-se que esses eventos tomam lugar, no estudante, em diferentes níveis² de aprendizagem, correspondendo aos passos principais do processo cognitivo* (Frasson, Kaltenbach, Stregtheening, 1993). Para Gagné, os eventos externos podem ocorrer para transferir o conhecimento da memória de curto termo para a memória de longo termo, conduzindo sucessivamente para os níveis indicados acima para fases codificadas semanticamente, recuperando o material previamente aprendido e reforçando o conhecimento adquirido.

Segundo Galvis (1992, p. 249), um Sistema Tutorial tipicamente baseado em Computador, inclui as quatro grandes fases que, para Gagne, formam parte de todo processo de ensino/aprendizagem:

na fase introdutória gera a motivação, centra a atenção e favorece a percepção seletiva; na orientação inicial leva-se a cabo a codificação, a armazenagem e a retenção do aprendido; a fase de aplicação leva à evocação e à transferência do aprendido; e na fase de retroalimentação demonstra o aprendido e se recebe *feedback* e reforço.

Gagné entende que os eventos externos são constituídos de estímulos oriundos do ambiente em que o ser humano (estudante) está inserido, sendo estes as diferentes ações desenvolvidas pelo educador, com o propósito de poder influenciar um ou mais processos de aprendizagem. Os eventos externos são conseguidos a partir do momento que podem ativar a motivação, dirigir a atenção, estimular a rememoração e proporcionar orientação à aprendizagem, intensificar a retenção, promover a transferência da aprendizagem, elucidar o desempenho e propiciar o *feedback*.

Então, o que se observa é que as fases de aprendizagem apresentam-se associadas aos processos internos, e que estes, por sua vez, podem ser influenciados pela ocorrência de eventos externos. Assim, Gagné compreende as oito fases constituintes do ato de aprendizagem, indica os

² Os sete diferentes níveis são sucessivamente: *aceitação* - nenhuma informação é dada ao aprendiz a respeito do conhecimento a ser adquirido; *motivação* - o estudante é motivado e é informado dos objetivos; *atenção* - recordar as capacidades previamente adquiridas; *apresentação* - introdução de ferramentas de aprendizagem e estímulo (texto, vídeo, demonstração); *iniciação* (aprendizagem em situações simples); *integração* - o aprendiz é informado de alguma solução para situações mais complexas que aquelas associadas com o nível prévio; *generalização* - o aprendiz pode transferir o conhecimento em várias situações. Os níveis 1 a 4 representam os passos condicionantes (o estudante é preparado para aprender), enquanto os níveis 5-7 correspondem aos passos do processo de aquisição efetiva de conhecimento. Durante os primeiros passos (nível 1-4) o estudante não é realmente ativo no processo de aprendizagem - ele é guiado. Sua participação ativa incrementa-se nos níveis 5-7, onde ele é finalmente capaz de generalizar a solução.

processos operativos ocorrentes em cada fase e os possíveis eventos externos que podem influenciá-los, de acordo como se apresenta no quadro 05.

Quadro 05: Possíveis eventos externos que podem influenciar as fases de aprendizagem.

PROCESSOS INTERNOS	FASES DA APRENDIZAGEM	EVENTOS EXTERNOS
1- Expectativa	1- Fase da Motivação	1- Ativar a motivação
2- Atenção e Percepção Seletiva	2- Fase da Aprendizagem	2- Dirigir a atenção
3- Codificação, Entrada do Armazenamento (incidente essencial da aprendizagem)	3- Fase da Aquisição	3- Estimular a memorização e proporcionar orientação a aprendizagem
4- Armazenamento da memória	4- Fase da Retenção	4- _____
5- Recuperação	5- Fase da Rememoração	5- Intensificar a retenção
6- Transferência	6- Fase da Generalização	6- Promover a transferência da aprendizagem
7- Resposta	7- Fase do Desempenho	7- Elucidar o desempenho
8- Reforço	8- Fase de <i>Feedback</i>	8- Fornecer <i>feedback</i>

Fonte: Adaptado de Gagné (1981).

O resultado desta aprendizagem realiza modificações no comportamento do ser humano de forma mais ou menos permanente. O processo de aprendizagem é obtido quando se estabelece como resultado, no desenvolvimento do aprendiz, estados persistentes que o filósofo *neobehaviorista* denomina de capacidades, do que se deduz que um ser humano aprendendo tais estados, torna-se capaz de obter determinados desempenhos, ou seja, as capacidades humanas são aprendidas. O desempenho do ser humano, obtido como resultado do êxito da aprendizagem, pode ser classificado em cinco categorias de capacidades humanas: informação verbal, habilidades intelectuais, estratégias cognitivas, atitudes e habilidades motoras.

Finalmente (Gagné, 1974, p. 22):

A função de ensinar origina-se, em sentido específico, da determinação das condições de aprendizagem. Ensinar significa organizar as condições exteriores próprias à aprendizagem. Essas condições devem ser organizadas de maneira gradual, levando-se em conta, em cada etapa, as habilidades recentemente adquiridas, a necessidade de retenção dessas habilidades e a situação estimuladora específica exigida pela etapa seguinte. Conseqüentemente, ensinar é uma atividade bastante complexa e árdua.

A teoria da aprendizagem *behaviorista* enfatizou os comportamentos mensuráveis e observáveis e suas modificações. Esta teoria forneceu os fundamentos dos primeiros projetos de

tecnologia instrucional baseada em computador. Nas décadas de 1970 e 1980, de qualquer modo, os pontos de vista dos behavioristas foram trocados por teorias cognitivas da aprendizagem focalizada nos processos mentais 'hidden', que podem acontecer para que o aprendizado ocorra. Shuell (*apud* Akras, Self, 1992) resume as teorias cognitivas atuais, enfatizando *que o aprendizado é um processo ativo, construtivo, cumulativo, auto-regulado e orientado a metas onde o aprendiz possui o papel central.*

Para Reiber (*apud ibid.*), a instrução é definida *como alguma forma de experiência de aprendizagem estruturada* e Pontecorvo (*apud ibid.*) a define *como uma atividade sistemática que tem por propósito o aprendizado e inclui o ensino.* A instrução tem tomado diferentes abordagens. Na instrução tradicional, baseada em um ponto de vista mais *objetivista* da natureza do conhecimento e do significado de conhecer, *o conhecimento a ser aprendido é pre-especificado e transferido para o aprendiz durante o processo instrucional, pelo significado da comunicação e da resolução do problema (ibid.).* Conhecer, de acordo com esta visão, é possuir conhecimento objetivo, a meta de um processo *instrucional.* Como consequência, a instrução é previamente projetada para identificar e definir os métodos instrucionais que podem ajudar os aprendizes a adquirirem o conhecimento desejado. Embora o conhecimento seja objetivo, a teoria *instrucional* reconhece que a aprendizagem em um tempo determinado é particular a um indivíduo aprendiz e está baseada no conhecimento previamente adquirido. Portanto, o projeto de instrução deve ser adaptado pelo planejador instrucional para as características individuais de cada aprendiz, durante o processo instrucional.

Neste contexto, planejar a instrução implica a definição do conteúdo da seqüência dos passos instrucionais e dos meios pelos quais este conteúdo será passado ao aprendiz. Usualmente está dividido em duas fases:

- *planejamento do conteúdo, que é definido de acordo com as metas instrucionais, as características do aprendiz, os conceitos a serem aprendidos, suas estruturas e seqüências organizacionais, e o plano de ação (execução), (Mohan, Greer, Jones apud ibid.);*

- *adicionalmente, os planejadores instrucionais variam os planos de acordo com o grau de determinismo assumido na seqüência da instrução, incluindo: planejamento total da ordem, que gera um plano completo de avanço; planejamento de ordem parcial, que gera fragmentos de plano, cuja ordem é definida em tempo de execução; e planejamento reativo, o qual integra a ordem total do planejamento com reações oportunas, assim que sejam capazes de reagir a eventos imprevistos no estágio de planejamento (Vassileva, 1995).*

Um ponto de vista extremo de *instrução, fortemente constrangedor por seqüências pré-planejadas de passos instrucionais, pode ser apreciado nas máquinas para ensino, propostas*

por Skinner (*apud* Good, Brophy, 1997, p. 137), baseadas nas suas pesquisas em condicionamento operante (Luckin, 1996, p. 5). Esta forma de instrução pode ser, de fato, considerada contraditória a qualquer epistemologia *construtivista* da atualidade. Como extremo oposto de instrução pré-planejada está a abordagem *Responsive Teaching* (ensino sensível) de Stremmel e Fu (*apud ibid.*), que é *dinâmica e interpessoal, com ênfase sobre a mediação das experiências da criança através da linguagem* (Luckin, 1996, p. 5). Esta instrução presume intersubjetividade através de atividades colaborativas. O professor é visto como um participante na construção de conhecimento e pode, portanto, ser capaz de compreender os sentidos e significações do aprendiz, tomar decisões “*no momento requerido*” e estar menos preocupado em alcançar objetivos pré-definidos.

Esta abordagem de instrução é muito menos consistente que a seqüência de instrução pré-planejada, mas muito mais próxima da abordagem construtivista. A visão de Skinner, por um lado e a de Stremmel e Fu (*apud ibid.*) por outro, são os extremos diferentes do espectro, em termos de pré-planejamento das experiências de educação da criança. A IA, na educação, estende-se historicamente neste espectro; desde o ‘*Scholar*’ de Carbonell (*apud* Giraffa, 1997, p. 24) para responder perguntas sobre geografia, até o ‘*co-aprendiz*’ de Chan e Baskin (*apud op. cit.*)

A concepção original da instrução assistida por computador - IAC (*Computer Aided Instruction* - CAI) foi, segundo Wenger (*apud* Luckin, *op. cit.*): “*receptáculos estruturados estaticamente organizados, que incorporam o conhecimento do domínio do assunto e da abordagem pedagógica do professor especialista*”. A introdução da IA origina as mudanças a respeito de que o mesmo especialista incorpora-se dentro do sistema, como oposta às decisões resultantes da incorporação do seu conhecimento.

A instrução, como o modelo de processo de comunicação, traz com isto um aspecto cognitivo que há tempos foi removido da psicologia comportamentalista de Skinner (Luckin, 1996, p. 5). No contexto dos ambientes para a aprendizagem, baseada no computador, uma *interação instrucional pode ser definida como qualquer forma de interação entre o estudante e o material instrucional, ou a interação mediada pelo computador entre estudantes que colaboram entre si ou entre estudantes e professor* (Wasson, 1996, p. 2). Estudos sob a perspectiva educacional (Ohlsson, Leinhardt e Greeno, Putman, Mc Arthur, Winkels, Breuker e Sandberg; Woolf; Murray, Littman; Wasson *apud* Akras Self *op. cit.*) defendem uma abordagem planejada para administrar interações instrucionais com o estudante. Os componentes de um ambiente de aprendizagem baseada em computador são responsáveis pela determinação da ação no ponto seguinte à interação instrucional; portanto, este é um controle do comportamento do sistema. A aplicação das técnicas de IA no planejamento do controle da instrução é o alvo principal das pesquisas. Os ambientes devem ser capazes de lidar com planejamento de conhecimento incerto, instável ou incompleto. O mundo do

raciocínio não é observável nem dinâmico e os participantes por (ex., o sistema e os estudantes e talvez o professor) têm múltiplas metas, freqüentemente, em conflito.

O planejamento instrucional é o processo de mapeamento de uma seqüência global de metas e ações que permitam ao sistema prover consistência, coerência, e continuidade durante toda a sessão de instrução e permitam, também, uma seqüência global integradora com metas locais geradas quando as oportunidades instrucionais surgem. (por ex. são detectadas concepções erradas, uma questão é formulada pelo estudante, o tempo da sessão está terminando, uma ferramenta cognitiva particular torna-se relevante, etc.). Na opinião de Wasson (1996, p. 2), deve-se reconhecer que *o planejamento instrucional é usado para suportar interação instrucional, não para defini-la*. As metas e planos não são para os estudantes, são antes para indicar ao sistema que comportamento é requerido, dado um determinado estado de um ambiente de aprendizagem. Foi demonstrado, de outra forma, que o planejamento instrucional pode ser usado para suportar várias estratégias instrucionais tais como as dos tutores tradicionais, como: Aprendizizes Cognitivos (Wasson *apud* Akras, Self, *op. cit.*), Treinador ou *Coaching* (Vassileva, 1997), Diálogo Socrático (Wasson *apud* Akras, Self, *op. cit.*), Tutor Negociado (Wasson, McCalla e Wasson *apud* *ibid.*). Se for aceita a definição de que a instrução é *alguma forma de experiência estruturada de aprendizagem* (Reiber *apud* Akras, Self, *op. cit.*) ou *uma atividade sistemática que tem como alvo a aprendizagem que inclui o ensino* (Pontecorvo *apud* *ibid.*), então a instrução não desapareceu. O que mudou, talvez, seja a redefinição da instrução em cada uma das tendências atuais da psicologia instrucional e da teoria da aprendizagem. Essa redefinição traz implicações para o papel do planejamento instrucional.

A abordagem do planejamento instrucional, em geral, afeta os seguintes aspectos no projeto de ambientes inteligentes de aprendizagem:

- *Modelagem do domínio*. Em sistemas instrucionais, o domínio é modelado em termos de conhecimento a ser aprendido. *Isto é feito pela identificação da estrutura do conteúdo do domínio em termos de componentes tais como fatos, princípios, conceitos e procedimentos, e relações entre esses componentes, tais como dependências lógicas e hierarquias* (*ibid.* p. 3). Duas suposições básicas da aprendizagem baseada em instrução motivam o conhecimento pré-especificado do domínio. Existe, desta maneira, uma correspondência entre o modo como o aprendiz e o planejador instrucional compreendem o domínio. A outra suposição é a de que tudo pode ser aprendido pela compreensão das suas partes.

- *Seqüência das experiências de aprendizagem*. Nesta abordagem, a seqüência da instrução, basicamente determinada a partir da estrutura do domínio, é uma questão que consiste em determinar a seqüência de passos adequados a um certo momento, baseados na estrutura do domínio pré-definido e métodos instrucionais, e limitados pelo estado de conhecimento do aprendiz. Diferentes

abordagens podem caracterizar uma maior ou menor visão determinista da seqüência da instrução. Quanto maior o determinismo da situação, maior a importância do planejamento '*para frente*', quanto menor o determinismo maior a importância de se estar apto para reagir aos eventos imprevistos. Seja qual for o caso, a suposição central a qualquer abordagem de planejamento instrucional é de que este processo é, de alguma forma, previsível. Esta previsibilidade implica na dependência de uma estrutura preconcebida de seqüência para a instrução, e vantagem para o planejamento. Ao contrário, os aspectos não previsíveis do comportamento do aprendiz levam ao replanejamento ou a reações oportunistas.

- *Avaliação do aprendizado.* Na avaliação do aprendizado, segue-se a presunção de que a aprendizagem baseada na instrução concerne à existência de um conhecimento objetivo a ser aprendido, completamente representado no sistema instrucional. Portanto, a avaliação focaliza um determinado estado do conhecimento do aprendiz, em termos de conhecimento correto e errado, que o aprendiz possui a respeito do conhecimento objetivo do domínio. Como resultado da avaliação, são planejadas seqüências instrucionais de reforço ou alternativas.

- *Papel desempenhado pelo sistema.* É a apresentação de conteúdo de unidades instrucionais de acordo com o plano gerado pelo planejador instrucional. Essas unidades podem ser lições, problemas, explicações, exemplos, exercícios, testes, etc. relacionados com o domínio de conhecimento.

A utilidade desta filosofia para sistemas tutoriais de estilo instrucional, onde algumas tomadas de decisão são atribuídas ao sistema, já foi previamente demonstrada. Por exemplo, questões instrucionais tais como seleção de conteúdo, sequenciamento, estruturação e planejamento de apresentações foram incorporadas nos STI. Adicionalmente, as estratégias para aprendizagem cognitiva ou tutorial foram modeladas por planejadores instrucionais. O desafio para os pesquisadores que investigam o papel desta filosofia e suas teorias contemporâneas é demonstrar sua utilidade. Segundo Wasson (1996, p. 5), o planejamento instrucional pode ser utilizado para:

equilibrar aprendizagem e atividades indutivas e dedutivas (por ex., aumentam a complexidade dos ambientes de aprendizagem tais como os micromundos, modelos de simulação, para ajustar os níveis de informação, etc.); para promover nos aprendizes a detecção dos seus próprios erros, clarificar as metas de aprendizagem; planejar sessões colaborativas (por ex., como estruturar um ambiente, localizar aprendizes juntos); determinar quando diminuir as estruturas de conhecimento (*scaffolding*); administração de sessões de aprendizagem. Em outras palavras, que os planejadores instrucionais orquestram as atividades nos ambientes de aprendizagem.

3.2.2 O Construtivismo

O termo “*construtivismo*” é freqüentemente associado à teoria educacional Piagetiana, cujo tema central é a construção de conhecimento na mente do indivíduo. A aprendizagem é equacionada com a aquisição de conhecimento externo e subordinada ao desenvolvimento, que pode resultar somente da construção ativa. *A visão de Piaget focaliza-se na interação com a realidade física, onde a internalização acontece em termos de esquemas que refletem regularidades em uma ação física individual* (Luckin, 1996, p. 4). A educação em tal ambiente faz com que a criança desenvolva seu conhecimento via atividades auto-dirigidas, construídas por professores a partir do que as crianças trazem para a situação de ensino, que consiste em facilitar este processo através do fornecimento de interações estimulantes ou conflitantes. Processo este centrado e dirigido pelo aprendiz, a quem se fornecerá o ambiente apropriado para a construção da sua própria compreensão. O professor não é alguém que dá uma lição, mas é alguém que organiza ‘situações’ que podem dar lugar à curiosidade e procura soluções pelo aprendiz.

A abordagem da aprendizagem construtivista assume que o conhecimento não pode ser objetivamente definido. Em lugar disso, este é individualmente construído a partir do que o aprendiz faz no seu mundo experiencial (Akras, Self, 1996, p. 2). Conhecer, de acordo com esta abordagem, é um processo adaptativo. *Por meio da ação no mundo, os aprendizes assimilam novos conceitos em suas estruturas cognitivas previamente construídas. Quando isto não é possível, suas estruturas cognitivas são estendidas ou modificadas para acomodar interpretações das novas experiências* (von Glasersfeld, *apud ibid.*). A consequência é que pode existir, em determinado momento, certas experiências ou situações do mundo que, provavelmente, sejam mais capazes de propiciar construção de conhecimento em um momento particular do processo de conhecimento.

Os construtivistas acreditam que as idéias e o conhecimento são construídos pelas pessoas e que não existem fora da mente humana (Duffy, Jonnassen, 1991, *apud ibid.*). *“Nós todos concebemos a realidade externa um tanto diferentemente, baseada em nosso único conjunto de experiências com o mundo e o que acreditamos a respeito dele”* (Jonassen *apud* Swam, Hughes, 1996, p. 2). De qualquer modo, os aprendizes discutem sua compreensão com outros e assim desenvolvem uma aprendizagem compartilhada (Jonassen *apud ibid.*).

O construtivismo assume que existem múltiplas perspectivas através das quais os indivíduos podem ver o mundo. *Os indivíduos desenvolvem essas perspectivas pela construção de modelos mentais. Além disso, os novos modelos mentais são mais facilmente construtíveis quando estão relacionados a ‘modelos mentais existentes’* (Swan, Hughes, 1996, p. 1).

Von Glaserfeldt (*apud* Heylighen, 1997, p. 1) define o construtivismo radical com dois princípios básicos, a saber:

- o conhecimento não é passivamente recebido através de todos os sentidos ou por via da comunicação, mas é ativamente construído pelo sujeito cognoscente.
- a função da cognição é adaptativa e serve ao sujeito na organização do mundo experiencial, e de modo nenhum, na descoberta de uma realidade ontológica objetiva.

A importância do construtivismo é melhor compreendida na comparação com a oposta e mais tradicional abordagem em epistemologia ou ciência cognitiva, a qual vê o conhecimento como uma reflexão passiva da realidade objetiva externa, que implica um processo de “*instrução*”: em função de obter uma imagem da realidade, o sujeito deve receber, de alguma forma, informação do ambiente que deve ser por exemplo, “*instrutivo*”. Uma visão simples é que os sentidos humanos trabalham igual a uma câmara que somente projeta uma imagem do mundo “*real*” para a mente, e usa essa imagem como uma espécie de mapa, que codifica em um formato ligeiramente diferente da estrutura objetiva externa. Tal visão envolve uma série de problemas conceituais, principalmente por que ignora a infinita complexidade do mundo. Mais ainda, observações detalhadas revelaram que, em todos os casos práticos, a cognição não trabalha dessa forma. Isto é, parece que *o sujeito está gerando ativamente inumeráveis modelos potenciais, e que o papel do mundo exterior simplesmente está limitado a reforçar alguns desses modelos, enquanto se eliminam outros (seleção)* (Heylighen, 1997, p. 1).

Essa construção serve em primeiro lugar para propósitos egoístas: o sujeito precisa tomar controle sobre o que percebe, a fim de eliminar qualquer desvio ou perturbação dos seus próprios estados, ou de metas preferidas. O controle requer um modelo de pensamento, que deve incluir somente aqueles aspectos relevantes para as metas e ações do sujeito. Em um certo sentido, o sujeito não cuida da “*coisa*” a ser controlada, somente da compensação de perturbações ou sensações desta meta, e assim é capaz de adaptar-se às mudanças de circunstâncias.

Desde que o construtivismo rejeita qualquer verificação direta de conhecimento pela comparação de modelos construídos com o mundo exterior, coloca-se uma questão muito importante, isto é, como os sujeitos podem escolher entre diferentes construções para selecionar “uma certa”. Fora de tal critério de seleção, o construtivismo estaria degenerando em um relativismo absoluto: a presunção de que qualquer modelo é tão adequado como qualquer outro. Os dois critérios mais usados são a coerência, concordância entre padrões cognitivos diferentes dentro da mente do indivíduo; e o consenso, concordância entre padrões cognitivos de indivíduos diferentes. A última posição leva ao “*construtivismo social*”, que vê o conhecimento somente como o processo de comunicação e

negociação (a “*construção social da realidade*”). Heylighen (*op. cit*) rejeita essas posições impropriamente restritivas, e toma uma posição mais pragmática, onde se anota que a adequação de conhecimento depende de muitos critérios diferentes, nenhum dos quais com uma prioridade absoluta sobre outros. As pessoas podem usar muito bem modelos incoerentes, sobre os quais podem não concordar com as outras, mas que são, ainda, importantes para a adaptação ao mundo complexo. Esse critério deve incluir pouco conhecimento subjetivo, consenso intersubjetivo, e comparação (indireta) com o ambiente “*objetivo*”.

Em geral, a abordagem construtivista afeta os seguintes aspectos no projeto de ambientes inteligentes de aprendizagem:

- *modelagem do domínio*. Cada aprendiz cria sua própria “*construção*” através de interação ativa, em um mundo no qual o domínio de conhecimento não é explicitamente separado do contexto em que é aplicado. Portanto, o conhecimento a ser aprendido não é pré-especificado. Alternativamente, há concentração na análise lógica do conteúdo da estrutura e nas dependências, em função de representar o que é relevante para o domínio do aprendizado. A preocupação é com o processo através do qual as perspectivas e interpretações, que são relevantes para o aprendizado, podem ser construídas. Entretanto, esse processo não pode ser separado do conjunto do sistema ou entidade (ou idéias) com as quais elas interagem (ou são relacionadas) no seu contexto real (Winn, 1993).

O resultado é que os aprendizes constroem seu próprio conhecimento (ou crenças) a respeito do domínio, em contextos interacionais nos quais eles experimentam e interpretam as próprias experiências. Portanto, a primeira implicação derivada da visão construtivista no projeto de ambientes inteligentes para a aprendizagem, é ser o domínio modelado em termos de contextos interacionais. Os contextos da modelagem interacional devem ser explicitados no sistema de informação, dentro do ambiente no qual as interações ocorrem, e também a respeito da natureza dessas interações. Esta informação contextual relacionada e orientada ao processo deve ser usada pelo sistema para raciocinar e tomar decisões a respeito do processo de aprendizagem. O contexto da modelagem interacional, desenvolvido como um formalismo situacional, permite a definição de um conjunto de entidades que representam a forma de pensar (o conteúdo do contexto interacional) e a forma em que os aprendizes podem interatuar ou interagir com essas coisas (a dinâmica do contexto interacional).

O tipo de situação é uma entidade abstrata que representa um contexto interacional. Para representar o conteúdo de um tipo situação são definidos objetos, relações, propriedades de objetos ou relações, estados de objetos, transições entre estados, e relações de abstração e agregação entre objetos. Para representar a dinâmica do tipo de situação são definidos eventos, precondições de eventos, e efeitos de eventos.

• *seqüência de experiências de aprendizado*. Os construtivistas afirmam que a forma em que o conhecimento é construído não se parece com nenhum ordenamento ou seqüência de estrutura predeterminada.

Compreender uma peça de conhecimento que possa mudar o significado de todo o conhecimento, previamente construído a respeito do domínio, faz necessário que as idéias possam ser revisadas previamente tantas vezes quantas possam ser compreendidas no contexto de outras idéias que sejam achadas enquanto se aprende (Winn, 1993).

A aprendizagem construtivista ocorre por tentativas dos aprendizes para conectarem-se, através da experiência, com conhecimentos de três classes: *conhecimento semântico* (conceitos e princípios), *conhecimento episódico* (pessoal, experiências situadas e afetivas com instâncias de conceitos e princípios), e *conhecimento de ação* (coisas que alguém pode fazer com a informação do conhecimento semântico e episódico) (Woolfolk, 1996). A consequência é que essa seqüência de experiências de aprendizagem na abordagem construtivista, nem é determinada por alguma ordem de domínio de estrutura pré-concebida, nem em nenhuma forma previsível. Ela emerge na interação entre o contexto interacional, no qual o aprendiz construiu o conhecimento prévio que determina seu pensamento e ação.

Portanto, a segunda implicação derivada da visão construtivista para o projeto de ambientes inteligentes para a aprendizagem, é que a estrutura do processo de interação, como as relações entre situações desenvolvidas no curso da interação do aprendiz com o ambiente, antes que a estrutura do domínio, será a fonte de informação para orientar o comportamento adaptativo do sistema concernente à seqüência de aprendizagem. Além disso, por que os sistemas construtivistas estão mais preocupados com o processo de aprendizagem, que com seus produtos, as ações do sistema devem ser também orientadas para facilitar a ocorrência de certas estruturas no processo de interação antes da aquisição de estruturas de domínios.

Explorando a estrutura do processo de interação entre o aprendiz e o ambiente, Akhras e Self (1996, p. 5) identificam *um conjunto de regularidades que caracterizam vários aspectos da forma de seqüências de experiências de aprendizado desenvolvidas em um ambiente construtivista*. A definição do significado formal, através da qual a ocorrência dessas regularidades pode ser explicitamente reconhecida, permite ao sistema ter informação a respeito da estrutura do processo de interação desenvolvida entre o aprendiz e o ambiente.

Baseados em algumas idéias derivadas da visão construtivista, Akhras e Self (*op. cit.*) têm identificado três tipos de interação; padrões de como desenvolver interações significativas; de

como os estados cognitivos desenvolvem a interação, e de como o curso da interação desenvolve-se. Esses padrões são formalmente definidos em termos de entidades que representam conteúdos, dinâmicas, ocorrências e estados de contextos interacionais.

- *Avaliação do aprendizado.* Os construtivistas reivindicam que os resultados do aprendizado são produto da construção individual dos aprendizes, quando suas próprias experiências fazem sentido. O enfoque é dado no processo pelo qual o conhecimento é construído e não no objetivo do domínio de conhecimento a ser adquirido. Portanto, a avaliação do processo de construção de conhecimento torna-se mais importante que a avaliação dos produtos resultantes.

Esta ênfase no processo sugere que a avaliação deva ser orientada para determinar um conjunto de características de processos de interação entre o aprendiz e o ambiente e que denotem como o aprendiz está construindo conhecimento. Por exemplo, já foi apontado que o processo que resulta em construção de conhecimento significativo apresenta as propriedades de ser ativo, construtivo, acumulativo, auto regulado e orientada para metas (Shuell *apud* Akras, *Self. op. cit.*).

Portanto, a terceira implicação derivada da visão construtivista para o projeto de ambientes inteligentes para a aprendizagem é que as características do processo de interação entre o aprendiz e o ambiente sejam avaliadas para determinar como os aprendizes estão construindo conhecimento. Esta implicação requer que as propriedades da classe respectiva sejam identificadas e formalizadas, assim como o curso de interação desenvolvido no processo de aprendizagem. Deve ser analisada a natureza e o modo como é aprendido no curso da interação.

O Construtivismo não tem um ponto de vista unificado. Na visão de Winn (1993), embora exista uma ampla variedade de posições teóricas dentro da filosofia Construtivista, a visão comum é que os aprendizes são construtores ativos de conhecimento, por si mesmos. Duffy, Lowyck e Jonassen (*apud* Winn, *op. cit.*) concordam com esse princípio e adicionam a essa visão comum, a importância da autenticidade da tarefa de aprendizagem, do contexto em que o estudante trabalha, e a importância do aprendizado colaborativo.

- *Papel desempenhado pelo sistema.* O sistema deve desempenhar um papel de facilitador, fornecendo situações e condições apropriadas que possam conduzir os aprendizes à experiência do próprio processo de construção de conhecimento em uma variedade de contextos. De qualquer modo, a maior parte dos esforços nesta área foram dedicados antes à definição de princípios de projetos dessas situações e condições a serem embutidas nos ambientes de aprendizagem (Knuth, Kunniggham *apud* Akras, *Self. op. cit.*), (Honebein, Duffy, Fischman, *apud* *ibid.*), que no desenvolvimento de mecanismos adaptativos facilitadores.

Um mecanismo facilitador, num ambiente inteligente para a aprendizagem, deve ser orientado para gerar ou adaptar contextos interacionais que permitam o desenvolvimento de situações que conduzam à construção de conhecimento significativo. A geração ou adaptação desses contextos interacionais deve levar em conta todo o estado do processo de aprendizagem, incluindo as condições cognitivas do aprendiz.

O estado do processo de aprendizagem, em um certo tempo, transporta informações a respeito das propriedades que mantêm para cursos de interação desenvolvidos até esse tempo. Por exemplo, pode-se transportar informação a respeito dos cursos de interação, se forem desenvolvidos, cumulativos ou construtivos, e com relação a quais entidades. Determinando o estado do processo de aprendizagem desta forma, é possível determinar as propriedades que caracterizam trajetórias que não foram exploradas ainda. Porém, o papel do sistema é tornar disponível para o aprendiz, a cada momento, o contexto interacional que poderia permitir (devido às características do projeto), o desenvolvimento dessas características ausentes. O sistema deve determinar, por ex., os tipos de situação que possam permitir certos tipos de interação³ que sejam cumulativas ou construtivas (ou qualquer outra propriedade definida) a respeito de certas entidades. Portanto, as quatro implicações derivadas da visão construtivista para o projeto de ambientes inteligentes para a aprendizagem, requer que o papel do sistema, em lugar de determinar o caminho a ser seguido pelo aprendiz, deve gerar espaços de interação, que caracterizem oportunidades abertas para interação, as quais possibilitem aprendizagem construtiva.

Contrastando os principais aspectos das abordagens instrucional e construtivista, identificadas e sugeridas por Akras e Self (*op. cit.*), conclui-se que estas duas abordagens diferem radicalmente.

³Akras e Self (*op. cit.*, p. 7) propõem uma idéia aproximada da abordagem para gerar esses espaços de interação:

- a partir do estado do processo de aprendizagem é possível inferir as necessidades do aprendiz em cada momento. De acordo com a visão construtivista, essas necessidades são expressadas em termos de estruturas de processos de aprendizagem a ser desenvolvidas, ao invés de termos de conhecimento a ser adquirido.
- uma análise dos tipos de situações disponíveis no ambiente podem mostrar regularidades que sejam abstrações de padrões de interação previamente definidos.
- entretanto, é possível analisar os tipos de situações, à procura de regularidades para este ordenamento que pode denotar possibilidades para o desenvolvimento de padrões de significações de interação, situações cognitivas, curso de interação, e sempre procurar, através de análise mais complexa de combinações destas regularidades, possibilidades de tipos de situação para o desenvolvimento de acumulações e construções, dado um certo estado de processo de aprendizagem.
- finalmente, para gerar o espaço de interação, o sistema deve inferir sobre o estado de processo de aprendizagem (o qual corresponde às necessidades do processo de aprendizagem), as regularidades dos tipos de situações (que correspondem às possibilidades do ambiente), os tipos de situações nos quais as possibilidades oferecidas pelo ambiente podem reconhecer e as necessidades do processo de aprendizagem no tempo.

3.2.3 Abordagem Construcionista

O construcionismo⁴ é um dos dogmas contemporâneos na teoria da educação. De acordo com esta abordagem, as crianças realizam assimilação de conhecimento através de tarefas construtivas. A meta da abordagem é fomentar a criatividade e motivar a aprendizagem através da atividade. *A aprendizagem é mais efetiva quando situada em uma atividade, recebida passivamente* (Roussos, Jhonson, Leigh, Vasilakis, 1996, p. 4).

Em Mindstorms, Papert tem uma visão de uma “*escola tecnológica de samba*”. Nas escolas de samba do Brasil, uma comunidade de pessoas, de todas as idades, reúne-se para preparar a apresentação do carnaval. *Membros da escola são ordenados por idades, desde crianças até avós e por habilidades, desde noviços até profissionais. Mas eles dançam juntos e, como dançam com qualquer um, estão aprendendo e ensinado também enquanto dançam. Mesmo as estrelas estão aprendendo suas partes mais difíceis* (Papert, apud Bruckman, 1997). As pessoas vão à escola de samba não exatamente para aprender a trabalhar em suas apresentações, mas também para socializar-se. O aprendizado é espontâneo, automotivado e ricamente conectado à cultura popular. Papert imagina uma classe de escola de samba onde as pessoas de todas as idades se reunam juntas para trabalhar em projetos criativos usando computadores.

Esta filosofia é central para o *design* de alguns ambientes, como o *MediaMOO* no *MIT Media Lab*. O centro deste projeto é uma cópia virtual do *MIT Media Lab* e foi projetado, em parte, como preparação para os MUD (“*Multi-User Dungeon*.”)⁵, um mundo virtual baseado em texto chamado *MOOSE Crossing* pelas crianças. Este projeto é psicologicamente poderoso pela habilidade em construir uma representação de um lugar real em um mundo virtual que é o seu próprio. Os autores do projeto desenvolveram a “*Internet Virtual*” como uma técnica para *ellipse* espacial. Usuários de outras localidades podem construir seus próprios escritórios pela conexão deles via “*Internet Virtual*”.

O uso de “*objetos contributórios*” é exatamente o primeiro passo; eles facilitam a aprendizagem do novo usuário e a programação do usuário no mundo virtual. Outro passo fácil no grande envolvimento com o mundo computacional é o uso da Programação Orientada a Objetos (POO)

⁴O termo “*construcionismo*”, cunhado por Papert, envolve dois tipos de construção (Bruckman, Resnick, 1995, p. 7):

- o aprendizado é um processo ativo, no qual as pessoas constroem ativamente seu conhecimento e suas experiências no mundo (idéia baseada nas teoria de Jean Piaget).
- para isto, o construcionismo adiciona a idéia de que as pessoas constroem novo conhecimento quando são engajadas na construção de produtos de significação-pessoal. Elas podem tentar construir castelos de areia, mecanismo LEGO, programas de computador ou objetos virtuais. O que é importante é que elas estejam ativamente engajadas na criação de algo que seja significativo para si mesmas e para os outros do seu meio.

⁵O primeiro MUD foi instalado em rede nos jogos com calabouços para múltiplos jogadores e dragões. Em muitas aplicações atuais a tecnologia MUD mudou muito, desde suas origens nos jogos violentos. Algumas pessoas preferem dizer que a “D” posiciona-se por alguma outra palavra tal como “domínio” ou “dimensão”.

(*Object-Oriented Programming - OOP*). O mundo virtual é feito sob “*objetos*” computacionais, cada um dos quais com suas próprias propriedades e características.

A combinação da habilidade para construir coisas e o contexto da comunidade⁶ para essa construção é particularmente poderosa.

Sem considerar as conseqüências resultantes da experiência ou in experiência técnica do usuário ou a habilidade para ampliar o mundo virtual a novos objetos e lugares, pode se fornecer:

- uma oportunidade para expressão auto criativa;
- um significado para estabelecer uma identidade pessoal dentro da comunidade;
- uma via de contribuição individual de valor para a comunidade;
- um contexto para a interação social (ambos no processo de criação de objetos, e no seu uso);
- um sentido de melhoria de conexão com a comunidade.

Muitos projetos atuais de RV, particularmente aqueles destinados ao entretenimento, são realizados como na Disneylândia: artistas e programadores projetam criações maravilhosas para experiência de usuários. Se esta tecnologia é “*interativa*”, é apenas em um sentido limitado como a maioria de sistemas hipertexto: existem múltiplas rotas através do material e o sistema tem uma habilidade limitada para reagir à interação com o usuário. De qualquer modo, as formas às quais o sistema reage são projetadas pelos artistas e engenheiros que os constroem, e não pelos usuários.

Se o poder dessa tecnologia é grande, os usuários precisam ser os criadores e não meramente os consumidores dos mundos virtuais. Os autores Bruckman e Resnick (*op. cit.*, p. 12) acreditam que os princípios construcionistas são de importância central para o design de sistemas virtuais.

3.2.4 Abordagem Sócio Cultural

Vygotsky (1988, p. 21) aborda três questionamentos fundamentais para o entendimento do comportamento humano e o desenvolvimento das funções psicológicas superiores:

⁶ Estudos realizados por Bruckman (1997) descobriram que a comunidade fornece:

- motivação para a aprendizagem,
- suporte emocional para superar a *technophobia*,
- suporte técnico,
- um auditório que elogie os trabalhos desenvolvidos.

- Qual a relação entre os seres humanos e seu ambiente físico e social?
- Quais as formas novas de atividade que fizeram com que o trabalho fosse o meio fundamental de relacionamento entre o homem e a natureza e quais as conseqüências psicológicas dessas formas de atividades?
- Qual a relação entre o uso de instrumentos e o desenvolvimento da linguagem?

Para este autor, nenhuma dessas questões tem sido adequadamente tratada pelos estudiosos preocupados com a compreensão da psicologia humana e animal.

Vygotsky investigou *a natureza da relação entre a instrução que recebe a criança na escola e o desenvolvimento mental subsequente que existe nessa criança* (Vygotsky, 1994). A sua visão de instrução eficaz envolve o professor (o mais capaz de observar) assistindo à criança no sucesso de sua atividade. *A estrutura do ambiente em que a instrução toma lugar é significativa pela natureza do desenvolvimento mental e individual que acontece* (Luckin, 1996, p. 1). Vygotsky enfatiza a importância do aprendizado da cultura e da natureza da sociedade em que o ensino toma lugar e o que foi usado como fundamento para o construtivismo social.

Na literatura produzida por Vygotsky sobre a natureza da instrução, desenvolvimento e relações que existem entre elas, a comunicação mediada semioticamente é muito enfatizada. Esta importante distinção de Vygotsky, entre os conceitos que surgem da experiência sensorial direta do mundo ou “em primeira pessoa” – que acontecem espontaneamente no cotidiano – e aqueles que são mediados por representações simbólicas – os conceitos científicos ou não espontâneos–. Esses conceitos não espontâneos são fundamento da teoria de Vygotsky a respeito da relação entre instrução e desenvolvimento, pois são aqueles que estão envolvidos nos mais avançados processos psicológicos. Os conceitos espontâneos, entretanto, carecem de desenvolvimento sistemático e é por esta razão que Vygotsky sugere que não produzem abstrações. Pelo contrário, a *‘definição verbal inicial’ que instiga o desenvolvimento dos conceitos científicos é sistematicamente aplicada até que se torne um ‘fenômeno concreto’* (Vygotsky, 1994). Dois caminhos de desenvolvimento são sugeridos, um carece de sistematização e outro não.

O processo instrucional deve permitir que as crianças se movam além de sua própria experiência sensorial direta; e isto deve promover o desenvolvimento de conceitos científicos não espontâneos. De qualquer modo, se a aquisição dos conceitos científicos, através da instrução influencia o desenvolvimento desses conceitos, então o desenvolvimento de caminhos pode ser conectado. As condições evolucionárias dos dois caminhos de desenvolvimento são diferentes. Uma requer experiência sensorial imediata. A outra, move-se para além da absorção do já pronto, indo para a construção do abstrato. Assim, o desenvolvimento é visto como um processo unitário. A criança ganha gradualmente o controle das suas funções mentais, tornando-se parte do sistema durante o curso

da instrução. O processo instrucional promove a aquisição de conceitos científicos de uma maneira sistemática, que resulta na formação de uma estrutura dentro da qual os conceitos espontâneos podem ser integrados.

A abordagem sociocultural para mediar a ação enfatiza as origens e definições do processo mental como fundamentado em cenários socioculturais. Esta é a base sobre a qual se estabelecem os fundamentos da teoria de Vygotsky; onde a consciência social é primária e a dimensão individual da consciência é “*derivativa e secundária*” . A teoria da Lei Genética Geral de Desenvolvimento Cultural (Good, Brophy, 1997, p. 63) enfatiza que o funcionamento mental é social. Os signos que constituem a comunicação lingüística e não lingüística fornecem o significado para organizar a própria ação ou a ação do outro. Esta mediação por ferramentas e signos é a característica que define o funcionamento mental. O funcionamento entre mentes é sempre situado cultural, histórica e institucionalmente e nem sempre ocorre da mesma forma. A interação entre adultos e crianças, em particular no contexto institucional, difere da interação encontrada em outros cenários. Considerando a distinção esboçada por Lotman, Wertsch (*apud* Luckin, 1996) enfatiza que esta é uma função de diálogo da linguagem, a função que lidera a geração de novos significados como opostos à função transportadora do significado, a qual pode ser enfatizada na educação. Ensinar neste tipo de ambiente construcionista requer que o professor crie oportunidades para a maximização da interação do diálogo. *A construção de conhecimento é uma atividade colaborativa, a natureza da qual deve variar de acordo com o contexto institucional particular* (Luckin, 1996, p. 5).

Ueno e Akimoto (*apud* Karlgren, Ramberg, 1996, p. 3) argumentam que a aprendizagem não é somente um evento em uma mente individual. A teoria é sempre socialmente enraizada e a classe de metaconto contexto compartilha implicitamente a liderança de certa forma de pensamento. A teoria é embutida em uma comunidade específica e em um jogo de linguagem. Em outras palavras, a teoria é sempre socialmente formada e mantida. As representações são socialmente compartilhadas e a robustez das explicações simples sucedem antes a um sistema de manutenção social específica, que a um sistema cognitivo individual.

A conciliação entre os aspectos conflitantes da instrução e o construtivismo é uma aproximação que permite ao aprendiz construir conhecimento em colaboração com companheiros habilidosos ou críticos. É também notório que Vygotsky, citado na literatura construtivista, é também associado a um tipo particular de “*instrução*”, traduzida equivocadamente como ‘*obuchenie*’, falha em reconhecer plenamente que esse termo inclui os processos de ensino e aprendizagem. O termo Russo ressalta a *inseparabilidade do ensino, a aprendizagem e a natureza social do processo* (Stremmel, Fu, *apud* Luckin, 1996). Dentro dos termos desta definição de ‘*instrução*’, *os atos do professor como companheiro do aprendiz para fornecer atividades apropriadas e assistência*

significativa, permitem que o aprendiz possa ser induzido para a cultura da sua sociedade e o encoraja como aprendiz autônomo (Becker, Varelas *apud* Luckin, *op. cit.*, p. 5). A abordagem colaborativa não é exclusivamente dirigida para o professor ou para o aprendiz. Não enfatiza o ensino como o planejamento e a escolha de material e atividades para alcançar um conjunto de objetivos predefinidos, nem sobre como o aprendiz constrói sua própria compreensão de forma principalmente não assistida. Esta seria a influência de Vigotsky no uso de computadores na educação.

A psicologia de Vigotsky já foi usada de diversas formas pelos pesquisadores na área de *design* de *software* instrucional. Derry (*apud* Luckyn, *op. cit.*, p. 5), em sua pesquisa a respeito de questões metacognitivas, deu atenção considerável a Vygotsky. A autora propôs o projeto de um modelo de um sistema de Consultas Cognitivas chamado TAPS (*Training Arithmetic Problem-Solving Skills*) e concluiu que embora existam dificuldades para a implementação dentro de um STI, este modelo cognitivo de aprendiz, atribuível a Vigotsky, é potencialmente poderoso. A teoria do ZPD⁷ é citada como influência sobre o trabalho de Chan e Baskin (1990) denominado *Learning Companion System*. O sistema EXPLAIN de Wood, Shadbolt, Reichgelt, Wood e Paskiewitz (1992) estende a “*metáfora do andaime*” ao desenvolvimento da estratégia de ensino contingente. Os autores concluem que essas estratégias são bem sucedidas na instrução humano-a-humano, sendo generalizáveis para a instrução homem-por-computador. O sistema de Gegg-Harrison (1992) oferece aos estudantes sessões guias de solução de problemas, nos quais se fornece assistência para solução de problemas difíceis. O sistema usa o conceito de ‘*zona de conhecimento*’ para distinguir STIs que modelam o potencial do estudante. O sistema usa esquemas padronizados, os quais são parecidos com os ‘*micromundos em Prolog*’⁸.

O papel da educação, na visão construtivista, consiste em mostrar aos estudantes como construir conhecimento, indicando as perspectivas múltiplas para a solução de um problema particular, para se chegar a uma posição auto-selecionada com a qual possam comprometer-se eles mesmos, enquanto verificam outras visões com as quais podem discordar. A ZPD de Vygotsky permite que com a assistência um estudante possa solucionar problemas avançados que, sozinho, não resolveria.

A concepção de aprendizagem que resulta do confronto e da colaboração entre as diferentes abordagens e das correções a que se pode submetê-las conduz, inevitavelmente, à superação da dicotomia transmissão X produção do saber, porque essa concepção permite resgatar:

⁷Ver ponto “2.2.3 Pensamento e linguagem” deste trabalho.

⁸Ensinamentos em PROLOG.

- a unidade do conhecimento, através de uma visão de relação sujeito/objeto, em que se afirma, ao mesmo tempo, a objetividade do mundo e a subjetividade, considerada como um momento individual de internalização da objetividade;

- a realidade concreta da vida dos indivíduos, com fundamento para toda e qualquer investigação.

Nesses termos, chega-se à conclusão de que as práticas pedagógicas que respeitam à concepção de aprendizagem em foco devem apoiar-se em duas verdades fundamentais:

- a de que todo conhecimento vem da prática social e a ela retorna;
- a de que o conhecimento é um empreendimento coletivo, pois nenhum conhecimento é produzido na solidão do sujeito, mesmo porque essa solidão é impossível.

3.3 A plasticidade e as tecnologias de informação e comunicação

Neste ponto, pretende-se descrever as tecnologias disponíveis na atualidade para ajudar a desenvolver a riqueza plástica de uma unidade autopoietica, principalmente no que se refere à preparação e adaptação do homem ao trabalho.

3.3.1 A evolução dos dispositivos de aprendizagem

Diferentes gerações de computadores e equipamentos de telecomunicações sucederam-se na evolução da tecnologia da informação. A tendência desta ecologia, repleta de dispositivos, está se revertendo. Diferentes espécies estão fundindo-se: o rádio, a televisão, o telefone, a fotocopiadora, o *fax*, o *scanner*, a impressora e o computador podem eventualmente coexistir em uma caixa simples. Em breve, a ecologia da informação poderá ter apenas uma pequena superfície remanescente que sintetize e abarque as capacidades de todos os dispositivos atuais.

Uma forma de entender esta evolução é através da classificação desses dispositivos sintéticos em três tipos: objetos inteligentes, infra-estrutura de informação e ambientes sintéticos compartilhados. A categorização de ferramentas para aprendizagem, desta maneira, está baseada na sua relação com o dispositivo que está no meio circundante (Dede, 1995a, p. 1): “*objetos inteligentes*” são artefatos situados no contexto imediato que podem explicar-se a si mesmos e atuar em combinação, ajudando o usuário a compreender o ambiente circundante. As “*infra-estruturas de informação*” são formas de extensão do sistema nervoso humano, para que o usuário possa se comunicar e aprender através de barreiras de distância e tempo, explorando e contribuindo para criar arquivos remotos. Os “*ambientes sintéticos compartilhados*” são contextos inteiramente virtuais nos quais os usuários submergem, formando parte de uma realidade artificial.

A alta performance da capacidade das comunicações e da computação têm desenvolvido fortemente a infra-estrutura de informação, criando novas possibilidades. Os aprendizes podem submergir em ambientes sintéticos distribuídos, equipados com dispositivos denominados “*avatares*”, que possibilitam uma “*aprendizagem por descoberta*” em que se usam artefatos virtuais para construção de conhecimento (Walker *apud ibid.*). Desenvolvendo-se, além das interações mediadas tecnologicamente entre os estudantes, principalmente pela instância tecnológica destes mesmos aprendizes, esta revolução tecnológica aponta para uma mudança de foco das técnicas baseadas no construtivismo: o melhoramento dos periféricos resultam em que os estudantes realizem uma interação típica com o mundo externo para modelar “*magicamente*” a natureza fundamental das suas experiências no seu contexto físico e social (Dede, 1995a, p. 1).

A forte tendência de crescimento dos microprocessadores e redes de radiotelefonia e o projeto de capacidades embutidas (linguagem, imagem, inteligência) em objetos comuns, aponta para uma rápida melhoria no processo de ensino aprendizagem.

Segundo Dede (*apud* Dede, 1995a), aprendizes podem ser imersos em mundos Construtivistas Distribuídos, Sintéticos. Através de modelos de *software* subjacente; como a simulação distribuída, o aprendiz pode ser imerso em um ambiente construtivista sintético. O estudante atua e colabora não com ele mesmo, mas através da máscara de um “*avatar*”: a possibilidade de uma pessoa “*existir*” em um mundo virtual. A estimulação distribuída é um poderoso e deliberado mecanismo educacional desenvolvido pelo Departamento de Defesa da USA na década de 1980. Esta abordagem instrucional melhora a habilidade do estudante na aplicação do conhecimento abstrato, dentro de uma educação situada num contexto virtual autêntico, similar aos ambientes nos quais as habilidades dos aprendizes podem ser usadas. O SimNet de Orlansky e Thorp (*apud ibid.*), por exemplo, é uma aplicação de treinamento que cria um campo de batalha virtual, o qual os aprendizes podem desenvolver habilidades militares coletivas participando desde lugares remotos.

Para motivar os estudantes, além da assimilação de fatos que conduzam a melhores modelos mentais, os professores podem estruturar experiências de aprendizagem que provoquem novas idéias, provendo o exercício da introspecção em situações intrigantes e desafiantes.

3.3.2 Tecnologia Informacional

A divisão das tecnologias de informação atuais usadas para facilitar o fenomeno da plasticidade, segundo a proposta de Dede e Lewis (1995, p. 10), *classificam-se em categorias:*

- *Treinamento Baseado em Computador (TBC) e Instrução Assistida por Computador (IAC) (Computer-Based Training (CBT) e Computer-Assisted Instruction (CAI), são exemplos de uma variedade de termos similares que se referem a aplicações educacionais que,*

predominantemente, focalizam a tutoria e a pedagogia de exercício e prática. A ênfase instrucional está na apresentação de material para a aprendizagem, onde a compreensão do estudante é supervisionada pelo controle do comportamento, a observação das tarefas com resultados observáveis pré-definidos, bifurcando-se logo para apresentações adicionais ou práticas apropriadas. O designer pode antecipar toda a seqüência do potencial instrucional e pode completar janelas pré-definidas de informações a serem mostradas; o computador controla o fluxo de material, programando a aprendizagem através de uma seqüência de habilidades e conceitos. A estrutura subjacente, na maioria dos *Career Information Delivery Systems* (CIDS) e o seu papel como instrutor ou ferramenta de apoio à decisão na área da seleção da profissão, é agrupada na categoria dos *CBT*.

Interfaces de saídas: os acessos a dados não acrescentam, automaticamente, os conhecimentos do estudante; a disponibilidade de informação não é intrinsecamente criada em um *framework* interno de idéias que os aprendizes podem usar para interpretar a realidade. Enquanto as abordagens de apresentação transmitem rapidamente material da fonte para o estudante, freqüentemente este conteúdo evapora-se rapidamente das mentes dos aprendizes. Para motivar a aprendizagem de conceitos e habilidades, os estudantes precisam ver a conexão, daquilo que estão aprendendo, com suas vidas e com o modelo mental que já possuem. Os aprendizes, igualmente, adestram-se em um tópico até que o fato é definitivamente retido. *Para mover os estudantes da assimilação de fatos inertes para a geração de modelos mentais melhores, os professores devem estruturar experiências de aprendizagem que ressaltem como novas idéias que possam prover insights em situações de desafio* (Dede, 1995a, p. 5).

- *Um Sistema Tutorial Inteligente (STI) ou Intelligent Tutoring and Coaching System (ITS), também denominado Intelligent Computer Aided Instruction (ICAI), simula, para a tecnologia educacional, o papel das habilidades cognitivas de um professor (Dede, Lewis, 1995, p. 11). Justifica-se sua utilização, quando, sendo conveniente transmitir o conhecimento ao aluno, também interessa que este o incorpore e que uma avaliação seja realizada, tudo isto dentro de um mundo amigável* (Galvis, 1992, p. 249). As estratégias resultantes desse tipo de aplicação educacional são baseadas nas idéias do campo da Inteligência Artificial. Aplicações STI/ICAI idealmente contêm modelos dinâmicos do aprendiz, do conhecimento pedagógico a ser ensinado, e do discurso pedagógico; o sistema compreende quem, que e como será ensinado. Em um STI clássico, o material apresentado para o aprendiz é modelado interativamente e gerado dinamicamente em tempo real pelo sistema (em contraste, TBC se bifurca através de um repertório preprogramado de janelas). O designer pode criar esse modelo e determinar sua interação. O sistema gera material instrucional para ajudar o estudante a desenvolver desde um modelo simples até um modelo com a performance de um especialista. Novos desenvolvimentos caracterizam-se pela inclusão de experiência relacionada com o

oach

modelo de aprendizagem do estudante e a possibilidade de administrar estratégias baseadas em abordagens pedagógicas diversas. Para o caso particular do produto ETOILE (Dilemburg, *et. al.*, p. 12), são usadas as de Skinner, Bloom, Vygotsky, Piaget e Papert. Estas características têm permitido desenvolver sistemas mais flexíveis, adaptados aos interesses do sujeito cognoscente e com métodos pedagógicos variados, que facilitam o processo de aprendizagem.

O papel de um tutor inteligente pode ser implementado com muitas novas formas na RV. Como em uma presença espiritual, o tutor pode interatuar com os estudantes através de um discurso digital, através de texto que flutua no ar ou através de respostas. *As possibilidades dos STIs esperadas para o futuro são mais concretas, devendo ser expandidas graças ao potencial da RV* (Psothka, 1995, p. 12).

• *Multimídia/Hipermídia.* São diferentes denominações para o mesmo conceito: informação estruturada, baseada em estudos de como a mente assimila idéias. Software multimídia mostra os dados em múltiplas formas, simultaneamente (texto, imagens, vídeo, voz, som, música). Isto permite às pessoas com vários estilos de trabalho e aprendizagem (visual, auditiva ou simbólica) a obtenção de material formatado em seu modo preferido de comunicação. A multimídia é interativa; em vez de assistir passivamente a sessões de instrução pré-programada, como na televisão educativa, os usuários podem ter apresentações sob medida por seleção de rotas através do material, de acordo com seus objetivos e interesses.

A hipermídia fornece uma dimensão adicional à multimídia: associações entre peças de dados. As pessoas podem interrelacionar uma ampla variedade de idéias, em parte por que a memória humana é associativa. Frequentemente, as interconexões entre peças de informação são mais importantes que segmentos particulares de material; assim, a rota de conhecimento é feita via compreensão de relações de padrões, e não através do armazenamento de fatos isolados. Pela exibição de páginas *Webs* de interrelações através de mapas conceituais ou dispositivos gráficos similares, os sistemas hipermídia permitem aos aprendizes focalizar a relação entre peças de informação bem como entre os mesmos dados. Em multimídia e hipermídia, o designer desenvolve o material e a navegação que serão apresentados, mas o aprendiz seleciona a rota a seguir. Isto fornece um poderoso método de revelação e conhecimento da complexidade, adequado às necessidades dos estilos de aprendizagem dos estudantes.

Avanços na tecnologia multimídia permitem apresentar explicações gráficas ou textuais. De qualquer modo, os projetos multimídia podem ser conduzidos pelo desejo de demonstrar a tecnologia, antes que pelo princípio de considerar os diferentes papéis de explicação que constituem uma mídia voltada para aprendizagem. Desta maneira, Roth e Heffey (*apud* Dede, Lewis, 1995) observam que é preciso dar mais atenção à seleção inteligente de material, em um meio ou outro.

Adicionalmente, *precisa-se de formalismos de conhecimento teórico para fornecer uma relação entre tarefas de estudantes e modelos de simulação, permitindo responder perguntas do tipo “se” e “que acontece”*, pela apresentação simultânea de descrição textual e saídas de simulação gráfica-animada (Pilkington, Grierson, 1996, p. 527).

A respeito do impacto da multimídia na aprendizagem, os especialistas propõem que estas são as vantagens para a integração da multimídia na educação. Os benefícios de acordo com Ragsdale e Kassam (*apud* Yaverbaum, Nadarajan, 1995, p. 215), *incluem ensino individualizado, simulação de cenários do mundo real, feedback em tempo de execução e potencial para melhorar a cognição e a visualização*. De forma idêntica, Shim (*apud* *ibid.*) resume os benefícios de hipermídia/multimídia:

- incrementa aprendizagem e reduz o tempo de transferência de aprendizagem;
- possibilidade de acesso não linear à informação;
- habilidade de relacionar informação;
- promove ambientes colaborativos de trabalho;
- habilidade de apresentar a mesma informação por múltiplos meios.

Acrescenta-se que os especialistas defendem a idéia: *“uma parte essencial da mídia eletrônica é o suporte da interatividade”*. As vantagens da interatividade são sustentadas por Schanck (*apud* *ibid.*), segundo o qual o estudante deve estar *“fazendo”* antes que simplesmente *“observando”*. Boorsook e Higginbothan-Wheat (*apud* *ibid.*) acreditam ser isto o que faz única esta mídia educacional.

Kozma (*apud* *ibid.*) propõe que a visualização de material instrucional através da incorporação de gráficos, sistemas simbólicos de áudio e/ou vídeo, ajudam o estudante a compreender e recordar. Como resultado, a comunicação de material instrucional é melhorada. O autor também acha que as estratégias cognitivas, incluindo explorar, procurar, gerar hipóteses e fazer decisões, podem ser melhoradas pela multimídia. Outras vantagens citadas por Kozma incluem a habilidade para recordar informação previamente apreendida e a capacidade do usuário de estruturar e revisar a sessão.

Em 47 estudos descritos por Oz e White (*apud* *ibid.*), o *U.S. Department of Defense* comparou a instrução multimídia com a instrução convencional nas atividades militares, industriais e na educação superior. Pela medição de conhecimento, performance e retenção do treinamento, o estudo estabeleceu a multimídia como mais efetiva e menos custosa do que a instrução convencional.

Em resumo, começa a emergir um quadro claro de reforma educacional. Os modelos atuais de ensino, de acordo com Dagget e Branigam (*apud* *ibid.*), não são adequados para a crescente

democratização e características não hierárquicas da sociedade da informação. Portanto, *dadas as necessidades de melhorar a produtividade no campo da educação, e uma grande quantidade de teorias atuais a respeito do impacto da multimídia, estas são razões suficientes para explorar multimídia em ambientes de aprendizagem específico (ibid., p. 215).*

• Aprendizagem colaborativa suportada por computador. Inclui uma variedade de idéias no campo de trabalho colaborativo. A Inteligência Artificial e multimídia/hipermídia são tecnologias primárias que objetivam a melhora da efetividade individual, mas os ambientes dos postos de trabalho incrementam a ênfase nos grupos de trabalho e na interação colaborativa. Os “*Groupware*” facilitam a performance da equipe e isto requer uma construção comum das conceitualizações, pela comunicação das idéias de cada pessoa, estruturando grupos de diálogo e de tomada de decisões, lembrando a racionalidade para a seleção e facilitando atividades coletivas. O designer cria um conjunto de objetos e ferramentas interrelacionados. Com a orientação do professor, os aprendizes utilizam esse conjunto de ferramentas para desenvolver um modelo mental compartilhado e enriquecido por múltiplas perspectivas ou para executar tarefas que são melhor sucedidas em equipe, pelas habilidades e conhecimentos complementares.

• *Modelagem e simulação.* Aplicações instrucionais com séries de simulação de modelos, refletindo a essência simplificada da realidade para elaborar ambientes sintéticos, apresentam interfaces de imersão que situam o estudante imerso em mundos virtuais alternativos. Simulações centradas na fidelidade melhoram a aprendizagem com criação de modelos da realidade que retenham somente as características situacionais básicas que os estudantes estão aprendendo. Simulações de usuário simples permitem uma interação individual para interagir com o modelo da realidade (por exemplo, voar um avião virtual). Uma tecnologia emergente - simulação distribuída - permite a muitas pessoas localizadas em lugares diferentes habitar e formar um ambiente sintético comum; e realizar uma ampla série de usos educacionais (ex. Fábricas virtuais, hospitais, cidades).

Em contraste, as simulações na realidade artificial situam os aprendizes em ambientes de “*micromundos*” que ensinam, por variação controlada, como funcionam as leis naturais. Para qualquer tipo de simulação, o designer cria uma situação de aprendizagem na qual muito do conhecimento a ser ganho é implícito e contextual, aprendido pelo estudante através da reflexão de resultados de interação com o ambiente sintético.

• *Computer-based learning enablers.* As ferramentas baseadas em computador denominadas facilitadores de aprendizagem incluem um amplo espectro de capacidades como os sistemas de desenho assistido por computador (CAD), agentes inteligentes para realizar tarefas, “*webcrawlers*” para pesquisar na INTERNET e ferramentas de visualização de dados. Todas essas ferramentas permitem vários tipos de “*inteligência distribuída*”, nas quais o aprendiz é deixado em

liberdade para focalizar os conceitos e habilidades a serem adquiridos, através das ferramentas que assumem parte da carga cognitiva. Por exemplo, os “agentes” *baseados-na-máquina*, e construídos com as técnicas de IA, podem automatizar classificações simples, respostas, e tarefas de recuperação em acesso a bases de dados em rede; os aprendizes são deixados em liberdade para focalizar a interpretação criativa da informação que eles estão recebendo. Como outra ilustração, a visualização melhora a aprendizagem pelo uso de sistemas perceptuais humanos (visão, audição, tato) para procurar padrões em uma grande quantidade de informação. Em todos os facilitadores de aprendizagem baseados em computador, o designer cria uma ferramenta que complementa alguns aspectos da cognição humana, a mesma que é otimizada para auxiliar a aprendizagem em algumas situações de desafio conceitual.

3.3.3 Conhecimentos relevantes para a preparação das pessoas para o trabalho

Dede e Lewis (1995, p. 6) agrupam nas categorias gerais de “conhecimento” o “declarativo” (factual, ou “que” conhecer) e o “procedural” (cognitivo e/ou habilidade motora, ou “como” conhecer). Estes autores descrevem duas classes básicas de conhecimento adquiríveis através do processo de transição “*school-to-work*”⁹ (STW):

- conhecimentos que podem informar na seleção/navegação através dos pontos de decisão no processo STW;
- conhecimento que a pessoa pode precisar para fazer as transições através do processo. Pode ser conceitualizado, nos termos usados pelos economistas, em conhecimentos que incrementam diretamente o “*capital humano*” de uma pessoa;

O cruzamento dessas duas classes de conhecimento descritas com o uso desses conhecimentos (navegação através desse processo vs aplicabilidade direta ou conhecimento “*de domínio relevante*”) produzem uma matriz de 2x2 apresentada no quadro 06, na qual são incluídas em cada uma das células, as classes de conhecimento.

⁹ Dede e Lewis (1985, p. 5) definem o processo “*school-to-work*” como um número de fases enumeradas a seguir:

- Procurar e selecionar uma profissão apropriada, que inclua orientação a respeito do trabalho, exploração da profissão, auto avaliação de habilidades e interesses, e seleção da carreira.
- Procura e seleção de uma instituição/programa de treinamento apropriado para essa carreira. Isto inclui comparação de oportunidades de treinamento, preparação financeira e pessoal/doméstica.
- Aceitação em um programa de treinamento e conclusão satisfatória do curso e os certificados correspondentes
- Preparação geral na concorrência por um posto de trabalho, como as habilidades e informações na procura e aquisição do posto de trabalho na área dessa profissão.
- Boa performance na nova posição, promovendo o desenvolvimento de habilidades *work-related* (aprendizagem baseada no trabalho), atitudes e hábitos enquanto se trabalha e preparação para adaptar-se a futuros trabalhos.

Essas diferentes classes de conhecimento podem ser enunciadas em termos de diferentes teorias de aprendizagem, diferencialmente suportadas pelas tecnologias diversas.

Para Wu (1996, p. 5), por exemplo:

- o conhecimento científico registrado em livros de texto é altamente funcional, lógico e contínuo

- o conhecimento científico e ensinado na escola fecha com a tradição normal da ciência – isto é – primeiro é reconhecido, logo, sistematicamente organizado, disseminado, adotado e desenvolvido pela profissão. Conseqüentemente, Wu (1996) afirma que a aprendizagem do conhecimento científico, pelos estudantes, deve seguir um processo mental semelhante a dos cientistas registrando o corpo do conhecimento em livros de texto.

Quadro 06 : Exemplos de conhecimento fatural (declarativo) e procedural (habilidades).

	<i>Exemplos de conhecimento fatural</i>	<i>Exemplos de conhecimento procedural</i>
<p><i>Transmissão de Conhecimento Relevante:</i></p> <p><i>Fatos e habilidades necessárias para continuar o processo através do processo School-To-Work.</i></p>	<p>Fase 1: dados em horas e condições de trabalho em profissões potenciais, conhecimento de resistência pessoal e habilidades.</p> <p>Fase 2: “guia do consumidor” informação: instituições de treinamento, aplicação de informação.</p> <p>Fase 3: Informação em como ser um estudante bem sucedido, incluindo requerimentos e status.</p> <p>Fase 4: conhecimentos considerados específicos para diferentes tipos de posições.</p> <p>Fase 5: Informação no processo de revisão de performance, possibilidades adicionais de treinamento para estender o desenvolvimento na carreira.</p>	<p>Fase 1: habilidades em como acessar informação considerando diferentes profissões, como para comparar e contrastar informação pessoal e profissional.</p> <p>Fase 2: habilidades em como colher e integrar informações em várias oportunidades de treinamento e assuntos domésticos.</p> <p>Fase 3: Habilidades em se candidatar para programas, estudar habilidade, e se preparar em habilidades para fazer provas.</p> <p>Fase 4: preparação do curriculum vitae, habilidades efetivas para entrevistas.</p> <p>Fase 5: Habilidades efetivas de comunicação, habilidades de cooperação, motivação continuada para aprender e se desenvolver.</p>
<p><i>Domínio relevante de conhecimento: fatos e habilidades necessárias para adquirir um bom emprego e executar bem o trabalho</i></p>	<p>Fase 1: conhecimento a respeito da profissão alvo.</p> <p>Fase 2: Conhecimentos de que cursos e em que instituições específicas; podem ser mais valorizados, pelos potenciais empregadores.</p> <p>Fase 3: Aprendizagem específica de conteúdo técnico e organizacional, e detalhes para completar os trabalhos do curso para se formar.</p> <p>Fase 4: Informação dos objetivos, requerimentos técnicos e necessidades dos empregadores.</p> <p>Fase 5: Aprendizagem das práticas de negócios dos empregadores, organização e produtos.</p>	<p>Fase 1: Práticas simuladas do domínio das habilidades no ambiente em mira.</p> <p>Fase 2: Habilidade para avaliar a qualidade de várias instituições de treinamento.</p> <p>Fase 3: Aprendizagem dos manuais requeridos, habilidades sociais e cognitivas para graduar-se e passar nos requisitos necessários.</p> <p>Fase 4: Habilidade para discutir detalhes técnicos, avaliar qualidades de vários ambientes de trabalho.</p> <p>Fase 5: Aprendizagem dos procedimentos específicos dos empregadores, comunicação e cooperação com colegas empregados.</p>

Fonte : Dede e Lewis (1995, p. 7).

3.3.4 **As teorias de aprendizagem que direcionam o modo de adquirir a tomada-de-decisões/conhecimento de navegação e habilidades.**

Dede e Lewis (1995, p. 7) têm proposto que a pessoa pode adquirir ou possuir diferentes tipos de conhecimento para mover-se efetivamente através do processo de transição STW proposto. Várias epistemologias subjacentes e teorias de aprendizagem observam essas classes de conhecimentos verdadeiramente diferentes, fornecendo recomendações divergentes a respeito de como as habilidades podem ser instruídas e avaliadas. Selecionamos a classificação dessas teorias de aprendizagem/pedagógica nas três classes que são, atualmente, as mais proeminentes na área de educação e treinamento:

- uma abordagem incremental ou “*baseada em regras*”. Os defensores associados a essa abordagem são Simon (*apud* Good, Brophy, 1997, p. 286), Anderson (*apud* Guin, 1991, p. 253) e Lesgold (Dede, Lewis, 1995). Inerentes a esta visão de conhecimento e aquisição de habilidades são as suposições a respeito das funções de explicação e automatização em aprendizagem. A explicação ajuda a guiar a atribuição de falhas e ajuda a reparar as regras de resolução de problemas, enquanto se pratica ajuda para incrementar a velocidade da habilidade de resolução de problemas. Pouca ênfase tem ganhado os contextos sociais e ambientais da instrução. A aprendizagem funciona “*na cabeça do aprendiz*”.

- uma abordagem de aprendizagem analógica ou “*baseada em casos*”. Os defensores associados a esta abordagem são Shank e seus colaboradores, como Kolodner e Birnbaum (*apud* *ibid.*). Sob este ponto de vista de condução de fracassos, a aprendizagem ocorre por necessidade de processos analógicos de sucesso, na resolução de problemas usados para guiar as trocas em planos de ação, baseados em analogias de outras experiências. Contextos sociais e ambientais exercem um papel importante nestes modelos.

- a abordagem de “*cognição situada*”. Os proponentes desta abordagem são Clancey (Woolfolk, 1996, p. 505), Greeno (Good, Brophy, 1997, p. 196) e Leve (*apud* Dede, Lewis, 1995). Nesta visão do conhecimento e aprendizagem são proeminentes o contexto social e ambiental para suportar ações. Para variar graus, a aprendizagem toma lugar através de ações levadas fora do ambiente da prática atual, fortemente suportada por outra pessoa perto do aprendiz e feita pelos recursos ou ações do ambiente local. A aprendizagem toma lugar quando o estudante integra-se ele mesmo no ambiente social e físico.

Neste trabalho, não se pretende argumentar sobre a superioridade de alguma abordagem em particular. Essa discussão é abordada por Norman (*apud* *ibid.*) no campo das Ciências Cognitivas e Educação Geral, e especificamente na área de tecnologia para o suporte da aprendizagem.

Essas três abordagens, serão usadas para refletir sobre as possíveis diferenças na efetividade da aplicação do tipo de tecnológica. Por exemplo, muitos STIs estão baseados em uma simulação bem definida de habilidades no domínio. Essas ferramentas podem ser razoavelmente efetivas em diagnóstico de problemas em circuitos eletrônicos (um conjunto de habilidades e contextos bem definidos), mas não suportam o desenvolvimento direto de habilidades cooperativas. Ao invés, grupos de usuários de micromundos, baseados na exploração, podem ser inteiramente mais efetivos para o desenvolvimento de cooperação e habilidades de pensamento de ordem alta entre aprendizes, mas menos efetivos para ensinar conjuntos específicos de habilidades cognitivas (Dede, Lewis, 1995, p. 8).

O quadro 07 é uma tentativa de resumir essas três visões de conhecimento descritas (epistemologia), considerando as inferências relacionadas com cada visão de conhecimento. Como o modelo mental é mais naturalmente aprendido por humanos (aquisição), concomitantemente a visão de como esse conhecimento pode ser ensinado (pedagogia) e avaliado.

Quadro 07: Três visões teóricas do conhecimento e suas implicações com a pedagogia

<i>Epistemologia Geral</i>	<i>Como o conhecimento é adquirido</i>	<i>Como a pedagogia pode acontecer</i>
<p>Conhecimento é produzido:</p> <p>O conhecimento é construído por unidades discretas que são adquiridas independentemente e reunidas consciente ou inconscientemente pelo aprendiz.</p>	<p>Aquisição é um processo incremental através da prática, que guia novas e maiores produções corretas. Os aspectos sociais e metacognitivos são menos importantes.</p>	<p>Comunicação explícita de fatos e regras provêm práticas com o conhecimento para promover automatização. Provêm <i>feedback</i> imediato para sinais de erros. A avaliação pode ser incremental ou hierárquica.</p>
<p>Conhecimento e armazenamento de casos:</p> <p>O conhecimento é uma rica coleção de roteiros de histórias bem organizadas, ou casos que podem ser sintonizados e usados como analógicos.</p>	<p>Aquisição através de analogia e adaptação. Acessar um caso similar apropriado, mudando as características necessárias, criando uma nova história aplicada. Aprender é um processo metacognitivo. Menos ênfase em aspectos sociais.</p>	<p>Provê exemplos de situações de problemas com conteúdos apropriados apresentados. <i>Feedback</i> imediato em ações <i>subóptimas</i> na forma de uma história ou analogia. Avaliação: Aplicabilidade de repertório de casos e adaptabilidade em ambientes interativos.</p>
<p>Conhecimento é Experiência distribuída:</p> <p>O conhecimento é uma rica coleção de experiências distribuídas, altamente interconectadas com o contexto no qual as experiências ocorrem, em ambientes distribuídos, dependentes de um aprendiz individual.</p>	<p>Obtidos através de observação de mentores e participantes de atividades da cultura objetivo. Aprendizagem é feita por estímulos ambientais e interações sociais. Adição de experiências ricas integram o aprendiz no ambiente de conhecimento.</p>	<p>Provê prática situada em todas as tarefas no cenário de aprendizagem. Modela todos os aspectos da tarefa, incluindo o social. Habilidades de suporte de aprendiz podem ser necessárias para completar as tarefas. Avaliação: unindo/passando em uma comunidade de prática humana.</p>

Fonte : Dede, Lewis (1995, p. 9).

3.3.5 Quadro analítico para avaliar cada tecnologia

A seguir, os sete atributos-chave para avaliação da tecnologia, propostos por Dede e Lewis (1995, p. 19). Seu potencial e barreiras para tal suporte, são enumerados. Cada atributo é avaliado para uma tecnologia específica, com exemplos para cada categoria.

- *Meta e uso.* Qual o uso atual/potencial da tecnologia?. Até que ponto a tecnologia tem sido usada para educação, treinamento ou propósitos de suporte de transição? Se este ainda não foi aplicado, qual é a potencial aplicação da tecnologia? Esta categoria tenta puxar, separadamente, a aplicação de tecnologia desde as evidências do seu sucesso.

- *Registro de procedimentos.* Evidência de impactos em aprendizes/usuários?. Que evidência existe, na literatura, de que esta tecnologia foi usada satisfatoriamente em seu objetivo de suporte de transição para o trabalho? Por exemplo, têm os estudantes com o mesmo nível de compreensão progredido mais rapidamente através do curriculum? Têm eles aprendido mais ou de forma diferente do que no curriculum tradicional? Têm eles aprendido profissões, oportunidades de treinamento, ou emprego mais efetivo com o suporte da tecnologia? E como são generalizáveis semelhantes procuras?.

- *Maleabilidade.* Como é possível um “*tuning*” da tecnologia com vistas ao ensino. Este juízo a respeito da tecnologia possui dois aspectos. O primeiro é como ampliar a tecnologia para ser adaptada, pelos projetistas, para diferentes aplicações fora de sua aplicação original. Por exemplo, se um projetista toma uma tarefa, quanto um STI se adaptaria para geometria e para outro de domínio das matemáticas? Que tão difícil pode ser para ele a adaptação a uma área curricular diferente, tal como uma composição lógica ou formal?. O segundo aspecto da maleabilidade é ampliada para que o instrutor ou estudante/aprendiz possa utilizar a aplicação para ajustá-la a seu curriculum, linguagem ou estilo de ensino. Tão facilmente pode o professor mudar a tecnologia para envolvê-la na sua sala de aula, como para “*inclin*ar” sua sala de aula para o uso da tecnologia.

- *Potencial integrativo.* Pode esta ajuda integrar *stakeholders*?. Qual é o potencial da tecnologia para coordenar ou fragmentar os vários participantes das comunidades de instituições na transição STW?. Algumas das tecnologias baseadas em rede têm apresentado um melhor potencial para o compartilhamento das informações relativas entre os participantes dessas comunidades. Cada tecnologia pode ser julgada por seu potencial em interconectar entidades que, historicamente, não foram integradas.

- *Custo.* Quanto custará e quando?. O cálculo de custeio das aplicações atuais e futuras, das tecnologias para a educação, é um esforço complicado. O valor do custo simbólico não é obvio, tal como os investimentos em infra-estrutura para LAN ou WANs, educação de instrutores ou o custo para desenvolver o curriculum e materiais que acompanhem a tecnologia educacional. Onde for possível, pode-se definir o âmbito de uma unidade hipotética de implementação (ex. uma simples estação de trabalho para prover acesso a um micromundo, um servidor para informações do curso, etc.) e fornecer uma aproximação grosseira dos custos de *hardware* e *software* requeridos por aquela unidade.

- *Comercialização*. Esta categoria é entendida como a direção que se pode tomar para a tecnologia na procura de um papel viável no suporte da transição STW. Em particular, esta categoria identifica os papéis dos vários integrantes de uma comunidade, que suporta uma tecnologia promissora até o ponto em que esta começa a ser comercialmente viável.

- *Barreiras de implementação*. o que deve mudar?. Esta categoria é, talvez, a menos definida. É a mais importante, se a tecnologia for incorporada no ambiente educativo ou de treinamento. Evidências interessantes de pareceres prévios de como a tecnologia foi usada para suportar a educação sugerem que alguns dos aspectos mais importantes, do uso da tecnologia, referem-se ao que ocorre quando se tenta implantá-la dentro da estrutura de uma instituição educacional. Como pode essa tecnologia ser julgada “utilizável” ou produtiva a menos que outros atributos da estrutura institucional sejam mudados, tais como os da avaliação?. Para cada categoria, Dede e Lewis consideram os aspectos tradicionais da “cultura institucional” ou ambientes que possam ser transformados a fim de se conseguir o sucesso da tecnologia na sala de aula ou ambientes de aprendizagem baseados no trabalho.

O quadro 08, na página seguinte, é um resumo das tecnologias, cruzadas com os sete atributos de avaliações esboçadas.

Quadro 08: Resumo da comparação dos atributos da tecnologia.

	1. Meta e Uso	2. Registro de Procedimentos	3. Maleabilidade	4. Potencial Integrativo	5. Custos	6. Comercialização	7. Barreiras de implementação
CBT	Treinamento de baixo-nível, habilidades bem definidas e conhecimento guias CIDS de seleção de carreiras	Mais ou menos utilizável para habilidades complexas e diversidade de aprendizes. Poucos estudos de efeitos dos CIDS	Moderada: Alguma habilidade de instrutores para trocar a ordem dos módulos em CBT e CIDS.	Menos para CBT, mais alta para sistemas CIDS bem desenhados que permitem melhorar a informação compartilhada entre pessoas com o mesmo interesse	Moderadamente baixo: Labor intensivo para desenvolver novos módulos	Já forte: CBT é amplamente usado por comerciantes e militares, se tiver muitos CIDS no mercado.	Baixo: Tecnologia madura, capaz de ficar razoavelmente bem nos currículos tradicionais
STI	Treinamento de conhecimento e habilidades bem definidas, incluindo interações sociais estruturadas.	Efeitos muito positivos fortes para STIs bem desenhados com tarefas bem definidas; mas de domínios estreitos e externamente frágil.	Baixo: pouca habilidade para instrutores para trocar linguagens e estudantes para mudar a ordem de módulos.	Baixo: Os STI são visados para ensinar tarefas bem definidas, frequentemente independentes do contexto STW	Alta: Muito trabalho de pesquisa intensa para codificar habilidades, transferência baixa de domínios relacionados.	Não padronizados, custos altos; longe de uma ampla comercialização.	Moderadamente baixo, mais restringido para domínios que são bem definidos.
Multimídia/Hiperídia	Transferência de conhecimento Aprendizagem-controlada permitindo habilidades práticas via cenários baseadas em metas.	Efeitos positivos, mas dependentes das habilidades dos aprendizes para trabalhar fora das estruturas concretas e guiadas.	Alto: incrementando o número de ferramentas de autoria que permitam uma fácil modificação e adição de conteúdo.	Moderado, mas precisa desenho cuidadoso do início ao fim, com base de capacidades de deliberação bem definida.	Moderada para Webs simples, mas caro para a produção industrial do vídeo e animação.	Já ocorre; mais divulgada é a transição de instalações básicas para dispositivos com capacidade de multimídia	Pouca para aplicações de apresentação; moderada para abordagens da aprendizagem por fazer.
CSCL	Permitindo intercâmbio intelectual e emocional entre grupos STW de interesse comum.	Algumas evidências de efeitos positivos; para a maior parte de aprendizes, não tão poderosa como a interação presencial.	Alto, mas os membros da equipe podem adotar uma abordagem comum CSCL.	Alto se o currículo da aprendizagem projeta grupos tradicionais cruzados de STW para comunidades com os mesmos interesses.	Moderado: permitida pela emergência de capacidades de telecomunicação padrão.	Começando a ocorrer em situações de postos de trabalho; um desafio é a construção de mercados escolares para aplicações de aprendizagem.	Moderada: procura um estilo comum de intercâmbio; entre um grande grupo pode ser um desafio.
Simulação Experiencial	Praticando o conhecimento e as habilidades já adquiridas; compreendendo a realidade via ilusão.	Algumas evidências de efeitos positivos; ainda em estágios iniciais de desenvolvimento.	Moderadamente baixo: como a padronização emerge, pode incrementar.	Moderado: ambientes virtuais compartilhados podem permitir unir atividades para incluir vários membros de STW para comunidades com os mesmos interesses.	Baixo para alto, dependendo do grau no qual o ambiente virtual é distribuível e imergível.	Baixa-finalidade, estimulações de simples usuário são maduras; formas imersivas e distribuídas estão nos estágios iniciais de desenvolvimento	Moderado para alta: demandas de tipos alternativos de ensino e avaliação.
Facilitadores de Aprendizagem	Compreendendo dados complexos; suportando carreiras e procura de trabalho	Utilidade alta para visualização científica e para "navegadores iniciantes do WEB" em acesso de base de dados; aplicações educacionais em estágios iniciais.	Alto: por que essas são "ferramentas" gerais, por desenho, altamente flexíveis e são bem desenhados para serem altamente adaptáveis à medida do usuário.	Potencialidade alta para ferramentas que agrupam e integram conhecimento disperso relacionado com STW.	Baixo para moderado: só Webrowsers simples disponíveis gratuitamente, ferramentas "off-the-shelf" projetadas para minimizar custos de desenvolvimento.	Ainda não estão comercializáveis. A realização dos "agentes cognitivos" ainda é algo distante.	Moderado: certo para software subjacente e o acesso a informações distribuídas de carreiras/trabalho é limitado.

Fonte : Dede e Lewis (1995, p.21).

3.4 A Realidade Virtual - RV

A RV é uma tecnologia emergente cujo objetivo é gerar a percepção da realidade de um modelo de ambiente real ou fictício, através de dispositivos que estimulem mais de um órgão sensorial. A RV permite aos usuários a interação intuitiva com o ambiente virtual e seus objetos tal como na realidade, pela imersão no mundo virtual gerado pela simulação tridimensional computadorizada. Este método de comunicar informação estimula a compreensão de sistemas complexos, nivelando pessoas com conhecimento ou experiências limitadas (Shukla, Vazquez, Chen, 1996, p. 79).

Foi o simulador de vôo de Link, construído em 1929, que realmente permitiu o início do desenvolvimento da RV moderna. Link projetou uma viagem na qual os passageiros sentiam que estavam em um avião.

Nos começos dos anos 60 foi desenvolvido o simulador Sensorama Arcade, que utilizou estímulos de visão, audição, movimento e cheiro para a imersão do participante, além da experiência de um passeio de motocicleta (Ainger, 1996, p. 1). A visão não é o único aspecto do mundo real que os projetistas tratam de simular.

Em 1965 houve um desenvolvimento na evolução da RV. Sutherland projetou um *Head Mounted Display* (HMD) que muda a visão dos usuários conforme a trajetória de seus movimentos. De qualquer modo, esta unidade era extremamente pesada e incômoda, tendo que ser suportada no teto. Em 1965, o centro de pesquisa AMES, da NASA, começou a desenvolver equipamento de RV a baixo custo. McGreevy aproveitou esta idéia, e pelo uso do capacete de motocicleta e uma tela LCD, desenvolveu o novo microfone *lighter-weight*.

Em 1967, Brooks e a *University of North Carolina* começaram o projeto Grope. O usuário veste um equipamento que permite “sentir” certos aspectos do ambiente virtual quando se aplica certa pressão em lugares específicos, procurando-se simular as forças “encontradas” no mundo virtual.

1972 foi o ano onde houve um dos desenvolvimentos mais importantes para a RV - o jogo Pong foi lançado -. Embora não tenha sido um desenvolvimento estrito da RV, o jogo introduziu interatividade, aspecto vital para a RV. Tomado posteriormente por Kreuger (*apud Ainger, op.cit.*), que abriu o “*Videopalace*”, que consiste em uma série de ambientes onde muitas pessoas podem compartilhar mundos virtuais. Entretanto os mundos da RV podem ser lugares solitários se não existirem pessoas para interagir. Kreuger chamou a este mundo de *Realidade Artificial*.

Em 1986, a RV tornou-se como é conhecida hoje. O programador de jogos Jarom Lanier desenvolveu uma luva para ser usada nos mundos virtuais. Esta luva, mais um capacete, é o que hoje se conhece como a RV, que representou uma mudança tecnológica.

A RV pode ser vista como a interface do usuário da próxima geração.

Na perspectiva histórica, certas mudanças tecnológicas já haviam ocorrido antes, como por exemplo, a que leva os cartões perfurados aos teclados e monitores de vídeo, as interfaces gráficas como o *Windows* operado por *mouse*. Este desenvolvimento, na época, foi descrito em muitos livros de ficção científica como algo temível, mas segundo Odegard (1995b, p. 1), o desenvolvimento desta tecnologia tem-se adaptado ao usuário, e não o contrário.

3.5 Estado de Arte da RV

A RV é ainda uma tecnologia nova, e está constantemente em desenvolvimento. Embora a pesquisa e o desenvolvimento neste campo tenham iniciado na década de 1960, a RV encontra-se, na prática, na tecnologia de “segunda geração”, em razão do custo/eficiência do computador.

Tecnicamente, em termos de computação gráfica a RV pode ser descrita, como ferramenta poderosa com possibilidade de exposição gráfica que permite seu uso interativo. O uso de HMDs com dispositivos de *Head Tracking* permitem situar o usuário em um ambiente de imersão, o que representa uma nova dimensão de computação interativa. Esta classe de computação está a ponto de tornar-se cotidiana nas muitas atividades da vida diária (Odegard, 1995, p. 1).

As aplicações mais características foram realizadas nas áreas: médica, militar, da engenharia e da recreação. Existem aplicações da RV, sob diversas utilizações, em alguns laboratórios, desde a década passada, especialmente relacionadas com a extração do setor petrolífero. Poucos sistemas são baseados em imersão total, com HMDs. Hoje em dia, encontram-se sistemas de RV em centros de entretenimento familiar, *shopping-centers*, e outros centros de lazer. Duas áreas industriais têm incorporado a RV nas suas atividades: a indústria do petróleo e a automobilística. Além dessas instalações, muitas têm uma natureza acadêmica, como os projetos de pesquisa.

Na educação, a RV tem dado um significativo impacto no processo de aprendizagem. Embora possa abranger todos os assuntos, essa tecnologia pode ser melhor aproveitada nos campos da engenharia e das ciências. Os estudantes podem executar experimentos no mundo virtual que com outros meios resultariam demasiado difíceis, caros ou perigosos (Ainger, 1996, p. 2).

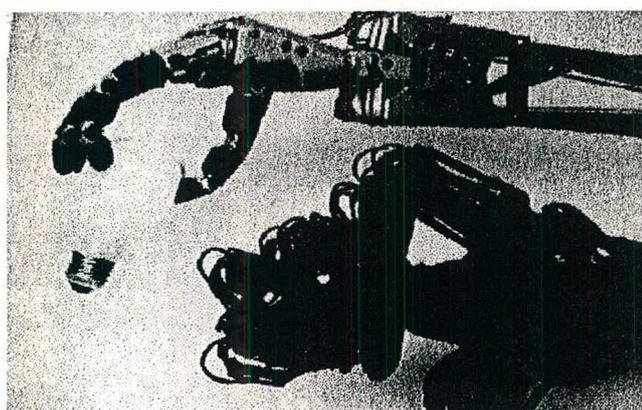
As escolas podem se relacionar via rede, através da qual os estudantes trabalham de forma cooperativa procurando as respostas de problemas particulares. Essas escolas podem estar

distanciadas fisicamente, mas conectadas em rede, situação que pode ajudar na aprendizagem dos estudantes sobre outras culturas.

Algumas aplicações relatadas por Odegard (1995b, p. 2), Rios (1994, p. 2), Shukla, Vazquez e Chen (1996, p. 79) e Chorafas e Steinmann (1996) são expostas a seguir:

- *Telepresença*. Veículos operados remotamente, desenvolvidos pela SINTEF e a Saga Petroleum Company que prototiparam a operação remota de submarinos para manutenção de instalações marinhas, submersas no Mar do Norte.

Figura 03: Braço de robot operado remotamente.



Fonte : Perez (1995).

- *Indústria do design*. A Volvo e a Daimler Benz têm usado a RV para o processo de design de interiores de veículos.

- *RV em prototipagem*. A VTT Electronics, na Finlândia, desenvolveu um sistema que permite validar o design de produtos antes e durante a fase do sistema de construção. Este sistema pode melhorar a comunicação mútua no desenvolvimento de projeto de produtos.

- *Conferência Virtual*. O *Department of Electrical Engineering of Linköping University* desenvolveu um método de vídeo conferência, que envolve a codificação de rostos e corpos dos participantes da teleconferência como um modelo geométrico tridimensional.

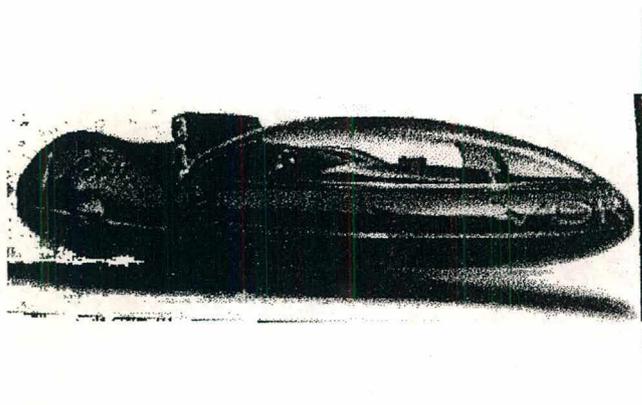
- *Ambiente virtual interativo distribuído*. Em Estocolmo, algumas instituições acadêmicas como o Royal Institute of Technology (KTH), o Swedish Institute of Computer Science (SICS), Ericsson Telecom e Telia, unem-se em MultiG. Suas atividades estão relacionadas a palestras de colaboração virtual em redes de banda ampla. No seu projeto de Telepresença, eles procuram integrar vários tipos de sistemas para trabalho colaborativo suportado por computador (*computer supported collaborative work - CSCW*). Como resultado deste trabalho, criaram o sistema em RV chamado *Distributed Interactive Virtual Environment (DIVE)*. Esta distribuição é a característica

central na concepção deste sistema. Todos os participante em DIVE têm uma cópia de todos os objetos; a atualização é constante e a consistência é mantida através da sincronicidade virtual da comunicação ISIS.

- *Simulação de tráfego.* Em colaboração com a Renault, Statoil e Vergdirektorated, Autosim e Tromso desenvolveram um ambiente virtual para treinamento de motoristas. O sistema foi construído em torno do carro Renault 1916V, conectado à Silicon Graphics ONYX. O carro pode ser usado no tráfego pesado no centro da cidade ou em uma estrada rural, no inverno, com neve e gelo. O sistema consiste em 13 km de via, podendo-se trocar estações, iluminação e condições de clima. O usuário é situado em um ambiente de RV onde o som é um elemento importante.

- *Simuladores de vôo.* As aviações civil e militar usam as vantagens da RV em treinamento e simulação. Scandinavian Airlines System e Braathes SAFE têm treinado a sua tripulação em simuladores. Desta forma, eles podem treinar em situações perigosas. Esses simuladores suprem artefatos como curvas, luzes e fumaça. O treinamento de pilotos pode ser, talvez, a principal razão para o desenvolvimento tecnológico dos sistemas de RV.

Figura 04: Cabina de simulação de vôo.



Fonte : Perez (1994).

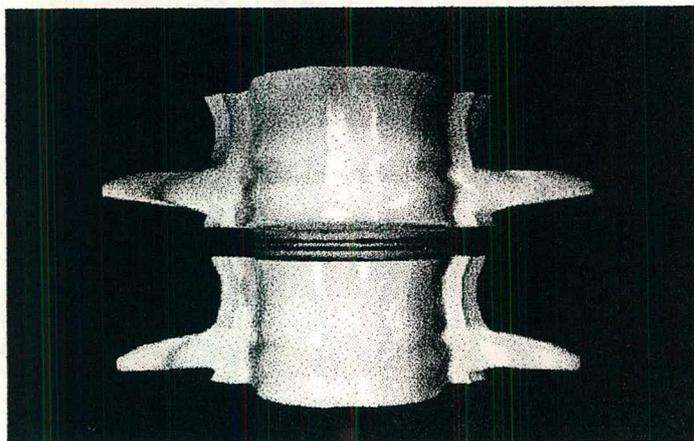
- *Simulador de navegação naval.* O mercado da navegação naval precisa sempre da educação e treinamento de pessoal. O sistema NorView 3000 pode processar 300 polígonos em tempo-real, e pode simular a navegação em uma ampla variedade de portos de águas internacionais, tais como New York e através do Canal Britânico. Na universidade de Alborg este é um interessante projeto em andamento para demonstrações em 3D e como este projeto pode ser usado em aplicações em Realidade Virtual.

- *Simuladores de situações perigosas em instalações de petróleo.* Algumas companhias de petróleo da Noruega formaram a companhia NUTEC para desenvolver um sistema distribuído, para treinar líderes em segurança, preparados para emergências na indústria de óleo. 12

supercomputadores estão conectados por fibra ótica para construir o ambiente virtual correspondente à situações de perigo tais como, batidas de helicóptero, fogo, gás e vazamento de óleo.

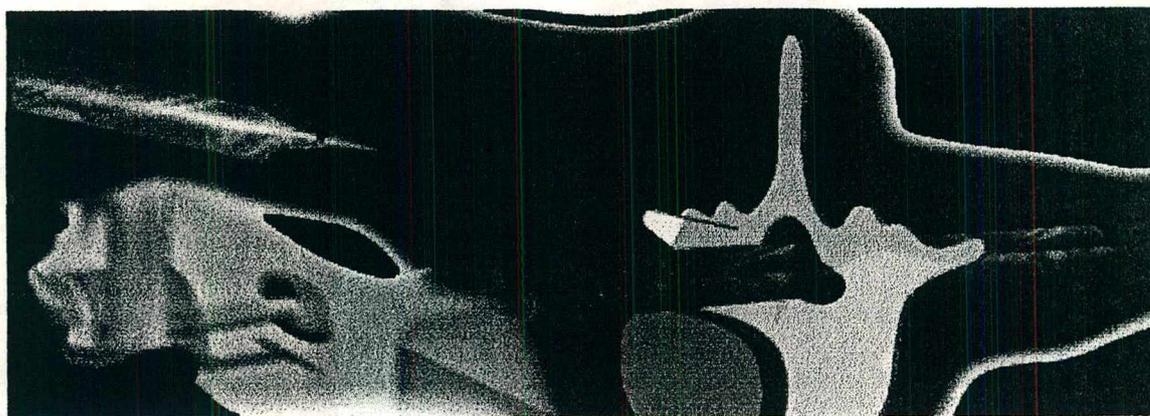
- *Medicina:* O emprego de técnicas de “overlays” (a sobreposição de imagens de estruturas ideais sobre as estruturas corporais atuais) podem ser de grande valia na cirurgia geral e neurocirurgia, que requer um alto grau de destreza e capacidade de reconhecimento dos órgãos apropriados (Rios, 1994, p. 1).

Figura 05: Representação virtual de duas vértebras da coluna vertebral.



Fonte : Perez (1994).

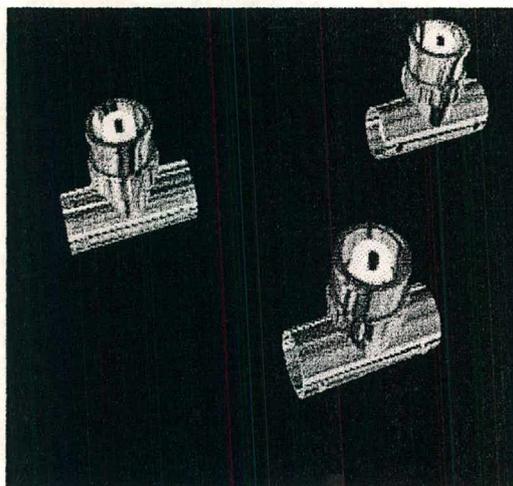
Figura 06: Representação virtual da vista em corte da coluna vertebral.



Fonte : Perez (1994).

- *Na educação e capacitação de pessoal.* A realização de atividades que requeiram coordenação motora são beneficiadas, uma vez que torna-se possível avaliar se os movimentos mantêm-se dentro das trajetórias prescritas e, se a pressão ou força exercida é a apropriada. Podem ser utilizados na aprendizagem de instrumentos musicais, condução de automóveis, soldagem de componentes eletrônicos, datilografia ou jogo de tênis, entre outras atividades (Rios, 1994, p. 1).

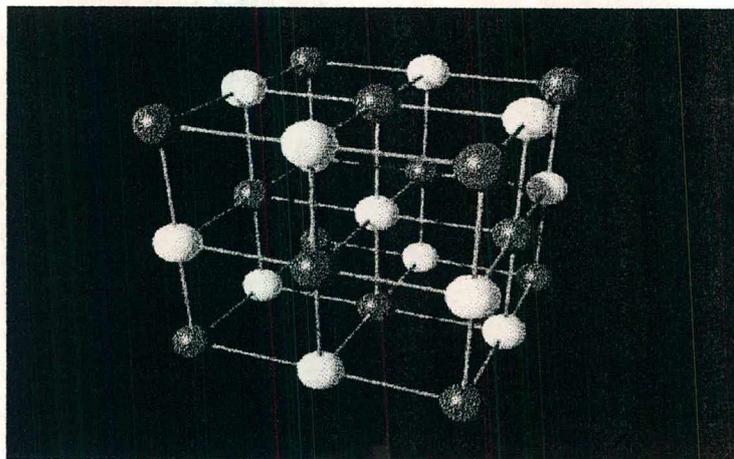
Figura 07: Visualização de peças metálicas tridimensionais geradas por técnicas de RV.



Fonte : Perez (1994).

• *Na visualização científica.* Os dados provenientes da análise de um sistema físico, tal como o comportamento aerodinâmico de uma turbina de avião podem ser melhor interpretados, se os distintos parâmetros forem visualizados tridimensionalmente e se forem manipulados interativamente (Rios, 1994, p. 1).

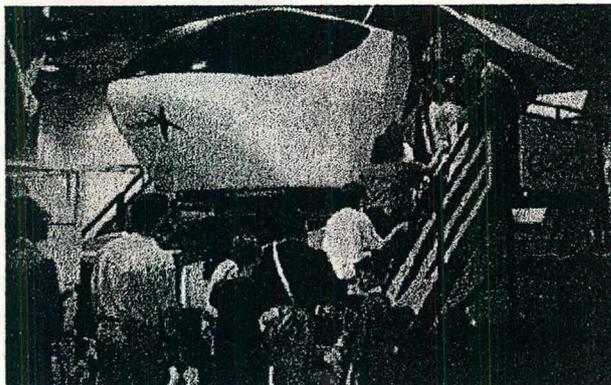
Figura 08: Molécula em representação virtual tridimensional.



Fonte : Perez (1995).

• *Na diversão e jogos eletrônicos.* A possibilidade de experimentar e interatuar com distintos ambientes oferece um enorme fascínio para a maioria das pessoas. Pode-se considerar que a RV tem suas origens no desenho por computador: os simuladores de voo, a interação homem-máquina, a robótica, a multimídia, e em certa medida, na cinematografia pela composição de meios que emprega, tais como o som e a imagem (Rios, 1994).

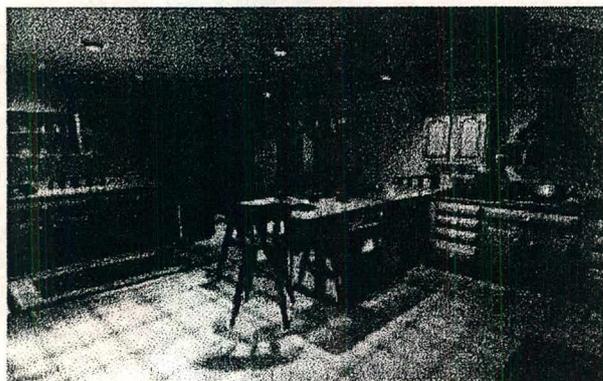
Figura 09 : Cabina para diversão em ambiente de RV



Fonte : Perez (1994).

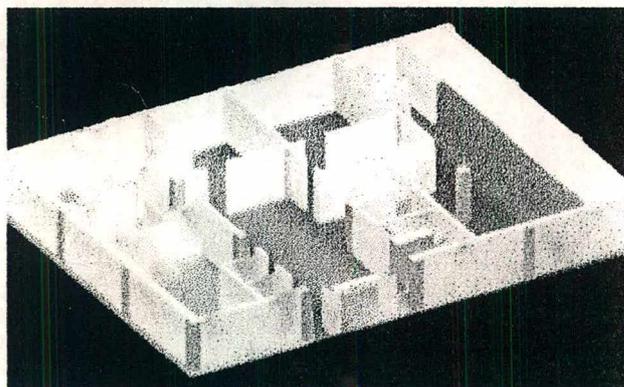
• *No design e na possibilidade de percorrer os modelos arquitetônicos.* Permite visualizar a proporção dos elementos da construção e a estética da combinação das cores, possibilitando percorrer interna e externamente a obra arquitetônica, ainda antes de sua edificação.

Figura 10: Projeto arquitetônico virtual do interior de uma cozinha.



Fonte: (Perez, 1994).

Figura 11: Maquete virtual da distribuição arquitetônica de uma residência.



Fonte : Perez (1994).

- *Aplicações de espaço real.* O espaço real é, tanto tridimensional, como em tempo real mais uma dimensão: comprimir esses eventos dispersos em um só ponto é uma aplicação de espaço real (Chorafas, Steimann, 1995, p. 33). Estes eventos, por exemplo, podem ser mercados financeiros que trabalham as 24 horas do dia. Da mesma maneira, os laboratórios de engenharia de GM e Ford em Detroit trabalham em espaço real no mesmo modelo de automóvel e em muitas das suas partes, com laboratórios de engenharia que cada companhia possui na Inglaterra e Alemanha.

Cada uma destas instituições financeiras e companhias de manufatura também mantém relações com seus sócios, que com frequência precisam efetuar reuniões no espaço real. Ainda é importante ressaltar aqui que as técnicas não imersivas da RV agilizam a visualização de objetos complexos e as transações concorrentes dos negócios. Também aceleram a conceitualização de idéias abstratas e conceitos teóricos em produtos caracterizados por um reduzido lapso de tempo-mercado.

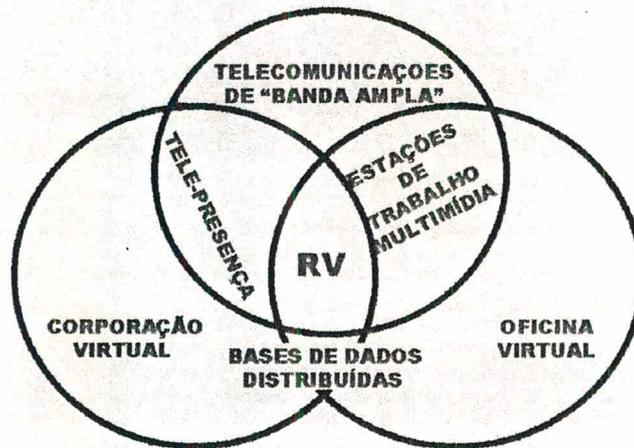
- *Corporação virtual.* Está composta por uma rede temporal de sócios de negócios independentes: clientes, provedores e inclusive antigos concorrentes (Chorafas, Steinmann, 1996, p. 3). Eles estão conectados por tecnologia informática que lhes permitem compartilhar recursos administrativos, experiência em pesquisa e desenvolvimento, capacidade de produção, mercados e custos.

- *Oficina virtual*¹⁰. Nos próximos anos espera-se que centenas de grandes corporações do primeiro mundo¹¹ abandonem as instalações físicas e entrem nas redes do ciberespaço. Portanto, a demanda de seus espaços e equipamentos de oficina mudarão de maneira significativa. *Em lugar de proporcionar a cada empregado uma oficina e uma escrivaninha, será mais barato e flexível para muitas companhias dotar os trabalhadores com computadores, faxes e equipamento de comunicação e permitir-lhes que determinem suas próprias condições de trabalho* (Chorafas, Steinmann, 1996, p. 13). Quando estes empregados precisarem trabalhar na oficina da companhia, usarão oficinas não territoriais ou virtuais, ou empregarão equipamentos de vídeo-conferência, um conceito conhecido como hotelaria.

Como sugere a figura 12, a RV encontra-se no centro de todos estes recursos. A tele-presença é a base comum da corporação virtual e das telecomunicações de ondas de “banda ampla”; as estações de trabalho multimídia são a interface entre uma rede inteligente e a oficina virtual; as bases de dados distribuídas constituem o *pivot* das oficinas e das companhias virtuais.

¹⁰Segundo Chorafas e Steinmann (1996, p. 113), as oficinas virtuais estão conectadas por meio de uma *topologia virtual* ou lógica que estabelece relações flexíveis mais sólidas entre os nós de uma rede que estão baseadas num gráfico matemático. Entretanto, a topologia virtual não precisa corresponder às configurações físicas que prevaleciam no passado, pois obedecem a leis de: reestruturação, redução e maior eficiência. Estabelecem-se *rotas virtuais* entre os nós de comunicação de uma rede. Estas rotas serão mais dinâmicas que estáticas e corresponderão às bordas do gráfico que dá suporte a essa topologia virtual.

Figura 12: A RV relacionada a outras tecnologias.



Fonte: Chorafas, Steinmann (1995, p. 4).

- *Algoritmos de calendarização.* A capacidade de experimentar através de uma pista dual – o simulador executado por computador e as imagens de RV – melhora a percepção que o calendarizador tem dos “gargalos de garrafa” e as ações de otimização. Uma visualização interativa é muito mais gratificante, já que os componentes básicos do sistema de calendarização são a essência de um conjunto de regras, onde a solução reside em três mecanismos-chave, a saber (Chorafas, Steinmann, 1996, p. 13): *competência pelos recursos, recombinação de tarefas e paralelismo de execução.*

Cada tarefa está associada a uma série de operações a serem executadas. A classe de tarefas (ou classe de parte) subdivide-se em montagens e componentes, empregando sub-classes de montagens para definir as montagens finais, assim como as submontagens.

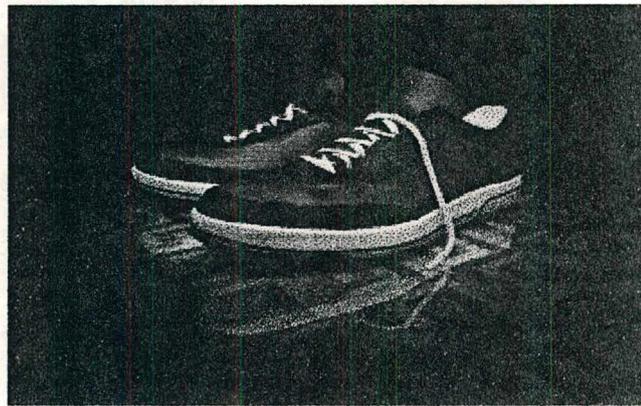
Na calendarização das operações de manufatura, as montagens identificam que quantidades de componentes são requeridos para realizar um trabalho específico. As máquinas elegíveis para realizar as operações estão classificadas e identificadas por cada operação e podem ser esquematizadas dentro do ambiente de RV. Com as operações associam-se os tempos de configuração e o processamento requeridos para cada tarefa. O conceito de *simulação inversa*¹² pode ser empregada para construir calendários.

¹¹USA, Japão, Europa.

¹²A simulação inversa consiste em iniciar a meta pelo final e proceder em sentido inverso, até o princípio em passos seqüenciais. Desta maneira, podem ser conseguidos excelentes calendários; a limitação está na sua visualização. Mas esta pode refletir-se na janela através de técnicas adequadas.

• *A Manufatura Virtual*¹³ (MV). É um ambiente sintético que permite praticar, para melhorar, todos os níveis de decisão e controle, em uma empresa manufatureira (Shukla, Vazquez, Chen, 1996, p. 79). Segundo Nahavandi e Preece (1994), a MV “... pode ser descrita como um modelo simulado de trocas de manufatura que pode ou não existir. Esta sustenta toda a informação relativa ao processo, administração e controle do processo e dados específicos do produto. É também possível ter uma parte da planta de manufatura real e a outra parte virtual”. Para Lin (1995), Onosato (1993) e Kimura (1993), a MV é o uso de modelos de computador e simulações de processos de manufatura para ajudar no projeto e produção de produtos manufaturados.

Figura 13: Par de tênis manufaturados virtualmente



Fonte : Peres (1994).

Algumas idéias ainda não podem ser realizadas devido às restrições da tecnologia atual e outras infelizmente, ainda estão no domínio da ficção científica.

¹³ Lawrence (1996) identificou três diferentes tipos de paradigmas de MV, que usam a tecnologia de RV para prover um ambiente integrado:

- MV centrada no projeto: provê os desenhistas com as ferramentas que reúnem critérios de projeto para produtos;
- MV centrada na produção: provê o significado para desenvolver e analisar alternativas de produção e planos de processo;
- MV centrada no controle : permite a avaliação do design de produtos, planos de produção e estratégias de produção, significando a melhora interativa de todas elas através da simulação do processo de controle.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

SEGUNDA PARTE: ELEMENTOS E TÉCNICAS PARA A FORMULAÇÃO DO MODELO

4 REALIDADE VIRTUAL - RV

A seguir, serão revisados os aspectos principais, atributos e características relativas a tecnologia da RV.

4.1 Definição

Dos novos ramos da informática, a RV é uma das mais desconhecidas. Seu nome sugere uma grande variedade de interpretações, as mesmas que se prestam a especulações e fantasias. Existem diversos termos que se referem ao mesmo conceito, como o caso de "*Realidade Sintética*" e "*Ciberespaço*".

A RV é descrita por Larijani (1994) como: "*um ambiente tridimensional sintetizado por computador no qual a pluralidade dos participantes humanos, com interfaces apropriadas, podem estabelecer contato ou interatuar com representações de outros humanos do passado, presente, da ficção e/ou criaturas inventadas*". O objetivo da RV é fazer uso da multimídia para gerar a percepção de ambientes reais, permitindo experiências interativas e facilitando a avaliação de diferentes cenários com limitadas despesas e esforço (Shukla, Vazques, Chen, 1996, p. 80).

Outra definição refere-se à RV como modelo matemático, que descreve um *espaço tridimensional*, onde estão contidos objetos que podem representar qualquer coisa, desde uma simples entidade geométrica, por exemplo um cubo ou uma esfera, até uma forma extremamente complexa, tal como um projeto de desenvolvimento arquitetônico, um novo estado físico da matéria ou o modelo de uma estrutura de DNA. *Realidade Virtual* pode ser, ainda, uma forma mediante a qual os humanos visualizam, manipulam e interagem com o computador e com dados extremamente complexos (Perez, 1995).

Para muitos, a RV é uma simulação interativa, quando se usa um *mouse*, *joystick* ou um simples teclado para voar sobre um modelo, como por exemplo um simulador de vôo que faz uso da realidade virtual interativa. Mas para outros, esta definição não basta e afirmam que uma RV é um ambiente de rede onde várias pessoas compartilham suas realidades, como é o caso das comunidades virtuais (BBS) e os esquemas MUD (*Multi User Dungeon*). Alguns limitam o conceito de RV ao uso

de equipamento sofisticado como o HMD (*Head Mount Devices*), que permite ao usuário submergir ainda mais nos novos mundos artificiais, ou realidades sintéticas tridimensionais dotadas com interfaces homem-máquina e com métodos de interação específicos. Pode-se dizer, então, que a RV é um método específico de interface com uma realidade artificial tridimensional. Para outros pesquisadores, é mediante à RV que se permite aos usuários experimentar modelos tangíveis de lugares e coisas, donde se entende que o modelo pode ser percebido diretamente pelos sentidos – não como se faz mediante a linguagem ou o uso de modelos matemáticos – mas através da visão, olfato, tato, paladar e da audição.

A RV é conhecida também como o próximo passo lógico na evolução da mídia. A diferença com a outra mídia é que a ilusão individual do usuário é colocada dentro da aplicação. E existindo uma rede, é possível que participantes localizados em diferentes lugares façam sua “entrada” nesse espaço virtual, para ter interação social com cada um dos outros. A RV pode mudar a forma de comunicação e interação social e a forma de aprendizagem. Os ambientes de RV imersiva podem fortalecer a mídia de comunicação visual no futuro (Odegard, 1993, p. 7).

O termo RV é contraditório a si mesmo; pode alguma coisa ser real e virtual ao mesmo tempo? Possivelmente, RV pode ser o melhor termo, por que é o que a tecnologia tem fornecido, desde que Alexander Graham Bell introduziu os fios de conversação de duas vias. Não ocorre compartilhamento de mundos virtuais nas conversações telefônicas entre pessoas? Elas existem nas cabeças dos participantes, e as tecnologias de comunicação ajudam a fazer um mundo virtual. *Na perspectiva histórica, RV é o topo da pirâmide das tecnologias de comunicação, onde a tecnologia substitui e suporta muitos aspectos da comunicação presencial* (Odegard, 1995, p. 1).

Segundo Lévy (1996, p. 15), *a palavra virtual vem do latim medieval virtualis, derivado por sua vez de virtus, força, potência. Na filosofia escolástica, é virtual o que existe em potência e não em ato. O virtual tende a atualizar-se sem ter passado, no entanto, à concretização efetiva ou formal. A árvore está virtualmente presente na semente. Em termos rigorosamente filosóficos, o virtual não se opõe ao real mas ao atual: virtualidade e atualidade são apenas duas maneiras de ser diferentes.*

Na ausência de um consenso, fica muito difícil definir as fronteiras entre o que é e não é RV. Não obstante, todos os autores concordam em que, mediante à RV, leva-se a cabo a união homem-máquina de uma maneira mais estreita. A RV é um passo além do que seria a simulação computadorizada, tratando-se da simulação interativa, dinâmica e em tempo real de um sistema.

4.2 Características e elementos da RV

As características de um sistema de Realidade Virtual, que o distinguem de outros sistemas informáticos, são (Rios, 1994, p. 2):

- *a imersão*: o usuário tem a sensação de encontrar-se dentro de um mundo tridimensional;
- *a existência de um ponto de observação ou referência*: permite determinar a situação e a posição de observação do usuário dentro de um mundo artificial ou virtual;
- *a navegação*: que permite ao usuário trocar sua posição de observação;
- *a manipulação*: característica que possibilita a interação e a transformação do meio ambiente virtual;

Os elementos presentes em qualquer sistema de RV (Perez, 1995) são mostrados na figura 14 e descritos a seguir:

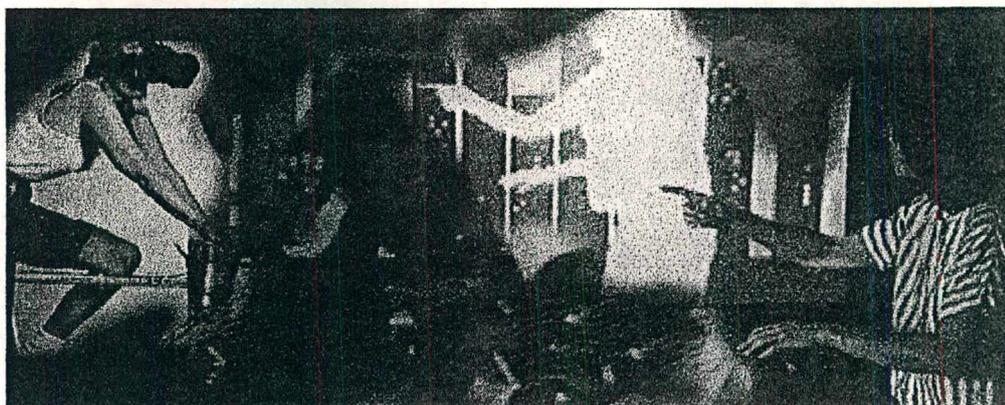
Figura 14: Elementos de sistemas de RV.



Fonte : Adaptado de Perez (1995).

- *Interação*: permite o controle da exploração deste sistema; a inexistência de interação faz com que o sistema torne-se uma simples película. Para a interação existem diversas interfaces, que vão desde teclados até luvas ou trajes sensores.

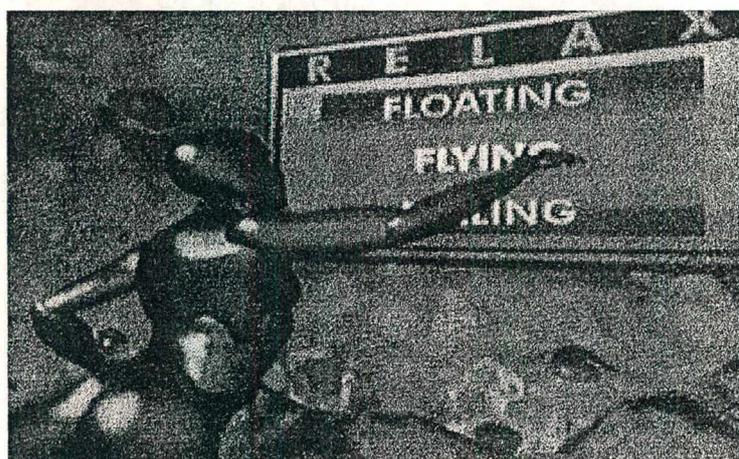
Figura 15: Interação com mundos virtuais.



Fonte : Perez (1995)

• *A percepção*: vem a ser o fator mais importante. Alguns sistemas de RV serão dirigidos, principalmente, aos sentidos (visual, auditivo, tato), outros tentarão chegar diretamente ao cérebro, evitando assim as interfaces sensoriais externas, e outros, os mais humildes, percorrerão a força da imaginação do ser humano para permitir a vivência da experiência de participar de um ambiente de RV.

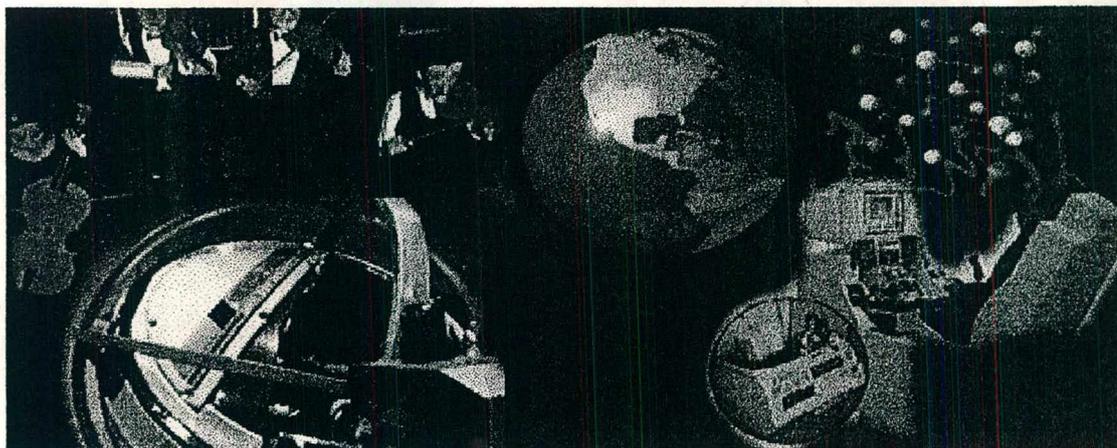
Figura 16: Percepção na RV.



Fonte : Perez (1995)

• *Simulação*: os mundos simulados não devem necessariamente adaptar-se às leis físicas naturais. É por esta característica que a RV se presta a ser aplicada em qualquer campo da atividade humana, se bem é certo, algumas aplicações são muito mais apropriadas que outras. A RV é algo mais que uma simples simulação, já que ao oferecer a possibilidade de interação com o modelo, fornece uma "presença" nele mesmo. Mediante esta faceta poderiam se realizar tarefas dentro de um mundo real remoto, ou em um mundo gerado por computador, ou ainda na combinação de ambos.

Figura 17: Ambientes virtuais simulados.

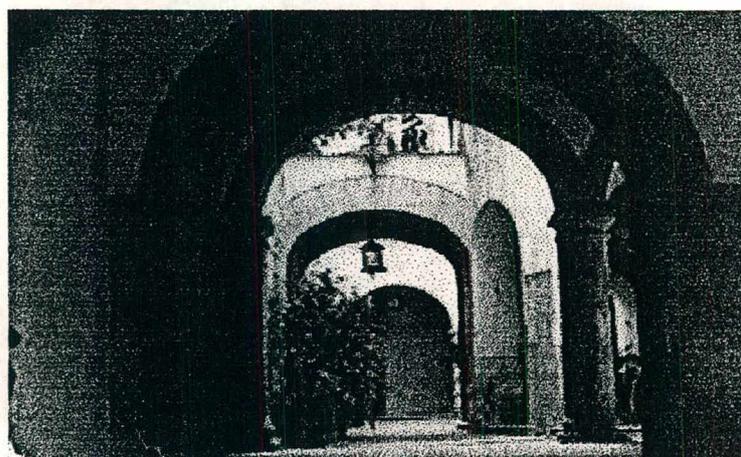


Fonte : Perez (1995).

Segundo Robinnett (*apud* Perez, 1995), os modelos a serem usados nos sistemas de RV podem ser agrupados nas seguintes categorias:

- Modelos capturados por Scanners, digitalizados, transferidos do mundo real; os sistemas de telepresença utilizam câmaras de vídeo (uma por cada olho) para explorar o mundo real em um lugar remoto, e gravações de som que registram um modelo de áudio de um mundo real à distância.

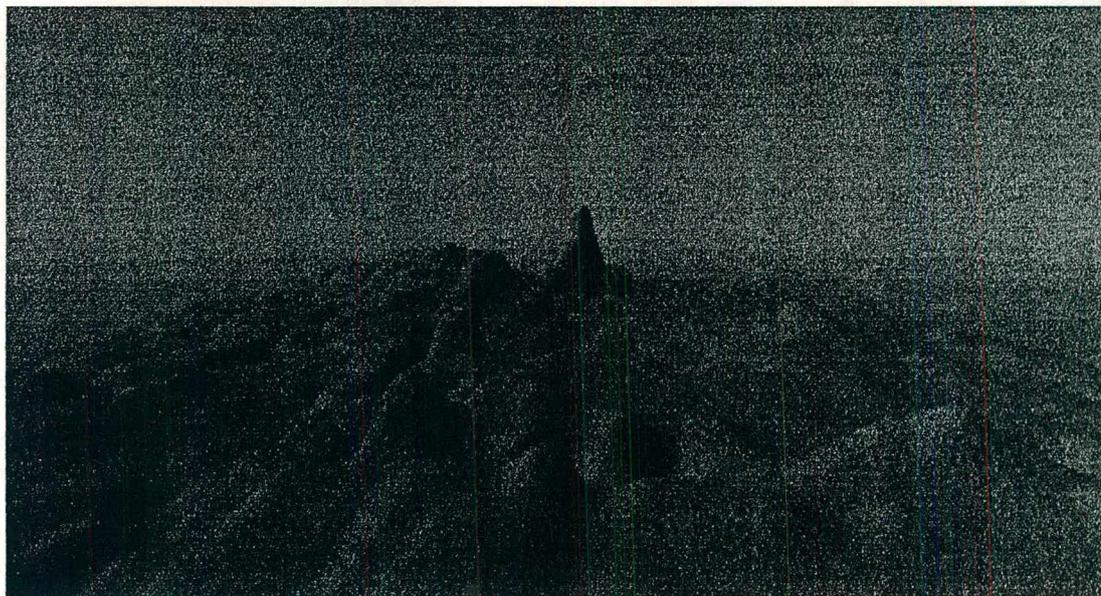
Figura 18: Modelo capturado com Scanner.



Fonte : Perez (1994).

- Modelos calculados, que são realizados matematicamente e posteriormente construídos-visualizados-manipulados, geralmente utilizados em modelos complexos ou demasiado abstratos, por exemplo, o modelado dos fluxos de ar em uma turbina ou dos fluxos de lava de um vulcão por um vale.

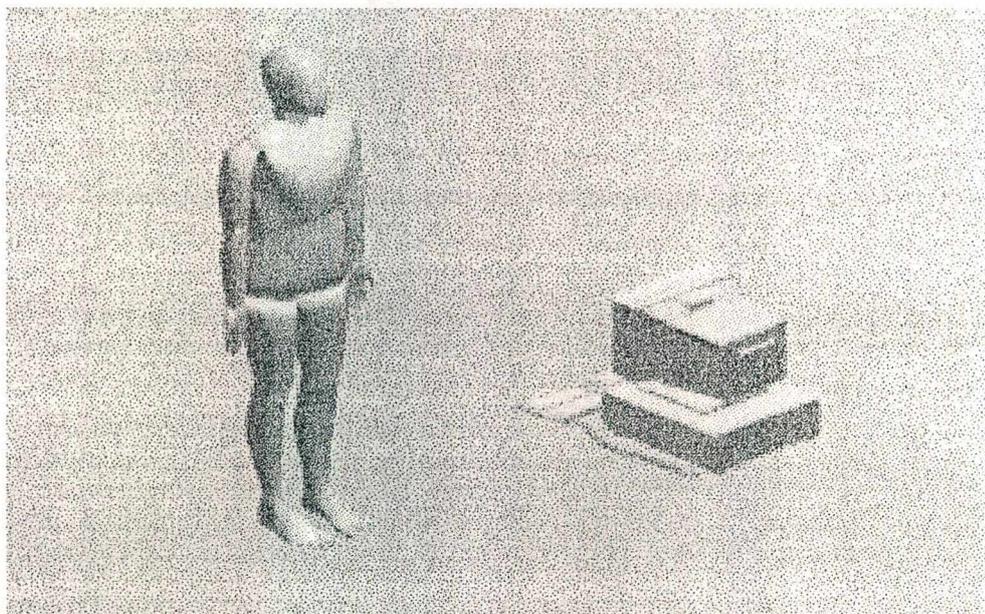
Figura 19: Modelo calculado e gerado com técnicas e ferramentas de RV.



Fonte : Perez (1994).

• Modelos construídos por artistas que são poligonais, geralmente gerados em sistemas CAD. Criados com estruturas coordenadas completas, estes modelos podem se basear em espaços reais ou fictícios , como por exemplo, uma cozinha do futuro ou uma paisagem espacial.

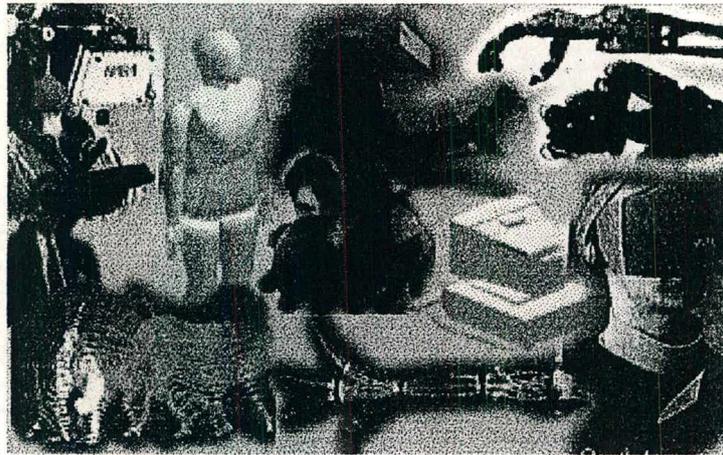
Figura 20: Modelo gerado com um sistema CAD.



Fonte : Perez (1994)

• Modelos editados a partir de uma combinação de conteúdos capturados por *SCANNER*, calculados ou criados por artistas.

Figura 21: Modelo editado a partir de uma combinação de conteúdos.



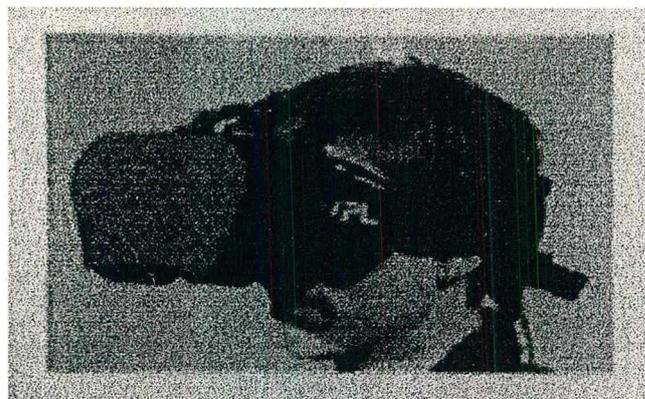
Fonte : Perez (1994).

4.3 Classificação da RV

Holland e Mort (1994) mencionam diferentes formas nas quais os ambientes virtuais podem ser experimentados:

- No tipo de ambiente “imersivo em primeira pessoa” (em inglês “*first person immersive*”), o usuário veste o capacete ou a unidade HMD, a qual atua para a exibição e como dispositivo de *tracking*, permitindo ao usuário a manipulação física dos ambientes, tais como seu campo de vista, geralmente em conjunção com outros dispositivos de *tracking*.

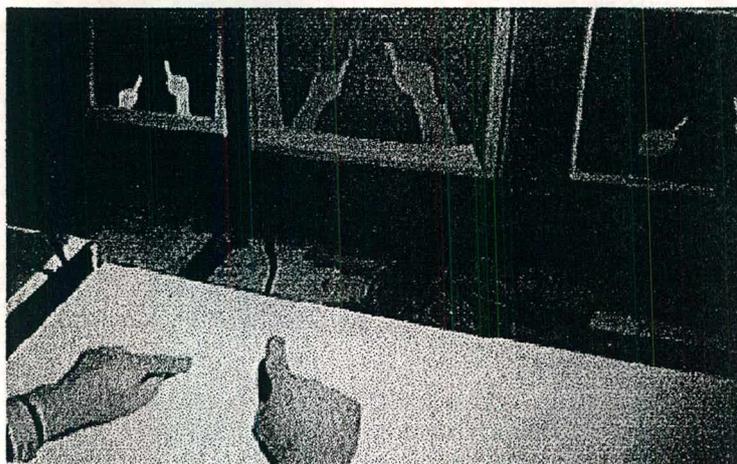
Figura 22: Capacete para imersão em primeira pessoa.



Fonte : Perez (1994).

- Na técnica “Janela no mundo” (em inglês “*Window on the World*”) o monitor atua como uma janela, meio para navegar e interatuar no ambiente virtual.

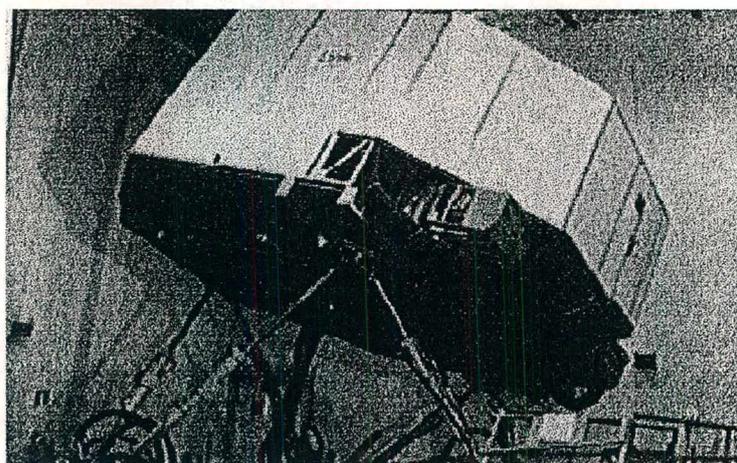
Figura 23: Interação com o ambiente virtual através do monitor.



Fonte : Perez (1994).

• “*Cabina de simulação*” (em inglês “*Cab simulator*”) usa a simulação física de um ambiente e provê o meio de interação através de controles reais e imagens virtuais na janela. Ex. simuladores de vôo.

Figura 24: Cabina de sistema de RV.



Fonte : Perez (1994).

• “*CAVE*” foi o sistema projetado pela Universidade de Illinois, no qual o usuário veste dispositivos de *tracking* e óculos fechados para perceber a imagem virtual projetada nas paredes e piso de uma sala fechada.

Em função dos elementos envolvidos, a RV pode ser classificada nas seguintes categorias (Perez, 1994):

• *Sistemas DESKTROP de RV*: Englobam aquelas aplicações que mostram uma imagem 2D ou 3D em um vídeo de computador, em lugar de projetá-la em um *Head Mounted Device*

(HMD). Posto que representam mundos de 3 dimensões, os exploradores podem viajar em qualquer direção dentro deles. Os exemplos característicos destes ambientes são os simuladores de vôo para computador. Em resumo, os sistemas de RV *DESKTROP* mostram mundos tridimensionais através de monitores de 2D. Alguns incorporam interfaces sofisticadas, como luvas, comandos de controle, cabinas, mas todas terão em comum a característica antes mencionada (3D em 2D).

- *Sistemas de imersão*: são aqueles que submergem ou introduzem o explorador no mundo virtual, mediante a utilização de sistemas visuais do tipo HMD, equipamentos seguidores de gestos e movimentos, assim como elementos processadores de som, dando, ao participante, a impressão de estar estreitamente relacionado com o ambiente virtual e isolado, até certo ponto, do mundo "real".

A consideração do que é ou não é imersão pode também depender muito da disposição para imaginar e compreender. A RV representa uma mudança tecnológica que adquire, por si mesma, muita proximidade com o usuário. Ela pode ser vista como a próxima geração de interfaces homem-máquina. Numa perspectiva histórica, certas mudanças têm ocorrido: primeiro eram os cartões perfurados que evoluíram para teclados e monitores de vídeo com textos, posteriormente aos monitores de vídeo vieram os monitores com capacidade gráfica, como por exemplo o Windows controlado por mouse. *Nesta perspectiva, a tecnologia tradicional vem desaparecendo da vista do usuário* (Odegard, 1995, p. 2)

A remoção das interfaces entre o computador e o usuário é uma condição necessária para a imersão em RV. O participante "*veste o computador*"; está dentro dos dados. Como resultado, os participantes podem interagir com o mundo virtual, podem viver uma simulação de alguns aspectos do mundo real, uma instanciação de alguma abstração, que de outra maneira só é acessível como dado numérico, ou como a criação da fantasia ou imaginação, assim como naturalmente eles fazem com o mundo real. *São grandes as vantagens das interações naturais que ocorrem quando a interface desaparece* (Winn, 1993, p. 2).

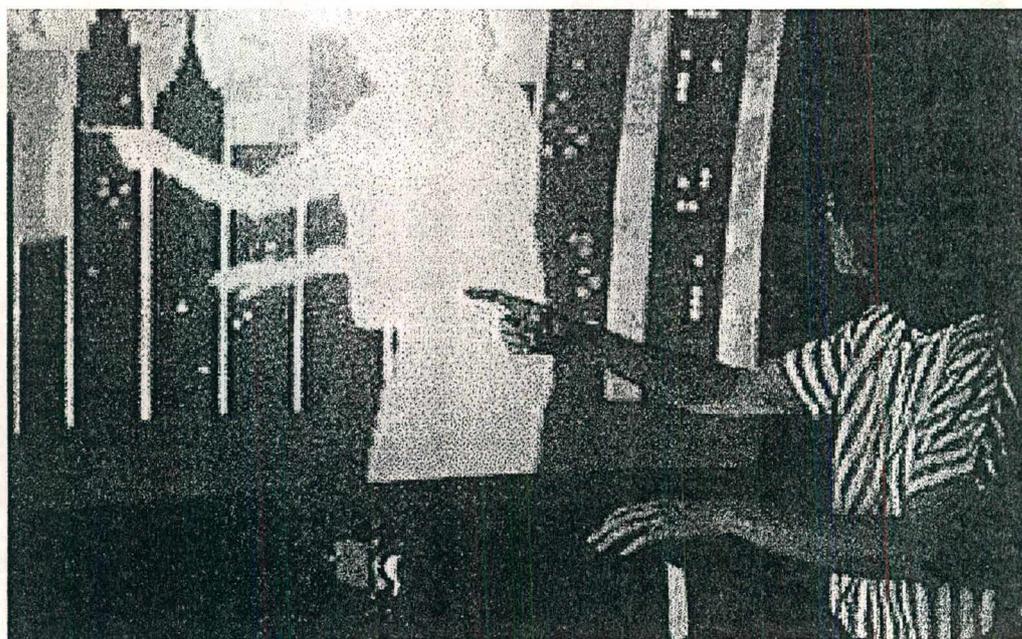
Existem mundos de imersão em 3 dimensões, onde mediante o envio de imagens ligeiramente diferentes a cada olho, se fornece a sensação de profundidade, perspectiva e dimensão. O que cada participante vê e experimenta precisa ser re-computado (para cada olho) em cada movimento que se detecte, para mostrar as visões e sons apropriados para a nova posição.

Os sistemas de imersão em RV permitem ao explorador ir a qualquer parte dentro da estrutura, atravessar paredes, boiar e elevar-se em direção ao céu, ou ainda penetrar nas entranhas da terra.

• *RV em segunda pessoa*: A diferença da imersão nos sistemas em segunda pessoa (ou *unencumbered systems*) envolvem percepções e respostas no tempo real das ações dos participantes envolvidos na experiência, aos que estão liberados e não restritos ao uso de capacetes, luvas, HMD's, fios condutores ou qualquer outro tipo de interface que atrapalhe sua performance (Casas, Bridi, Fialho, 1996, p. 37).

Nos sistemas em segunda pessoa, o explorador sabe que está dentro do mundo virtual porque se vê dentro da cena, ou seja, é um integrante do mundo virtual. Para lograr isto o participante é situado frente a um monitor de vídeo no qual é projetada a imagem do participante, mais a *chroma-keyed* (somada sua imagem de vídeo) com outra imagem utilizada como fundo ou ambiente, onde o participante visualiza, no monitor, o mundo virtual completo (Casas, Bridi, Fialho, 1997, p. 405). Mediante um *software* que realiza detecção de contornos, é possível efetuar manipulações visualizadas no monitor de vídeo dentro da cena. Além de imitar as sensações do mundo real, um sistema de segunda pessoa muda as regras e aplica a velha noção de "ver para acreditar" para induzir a sensação de presença.

Figura 25: Interação com sistema de RV em segunda pessoa.

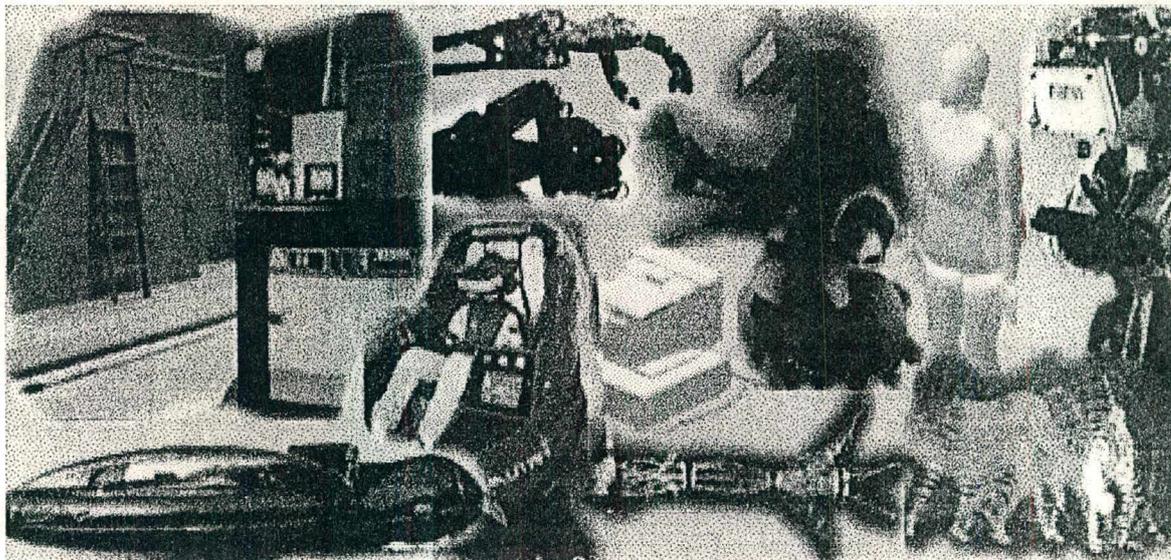


Fonte : Perez (1994)

4.4 Interfaces da RV.

Exploram-se, a seguir, os componentes dos sistemas da RV atual em termos dos fatores humanos.

Figura 26: Interfaces da RV.



Fonte : Perez (1995).

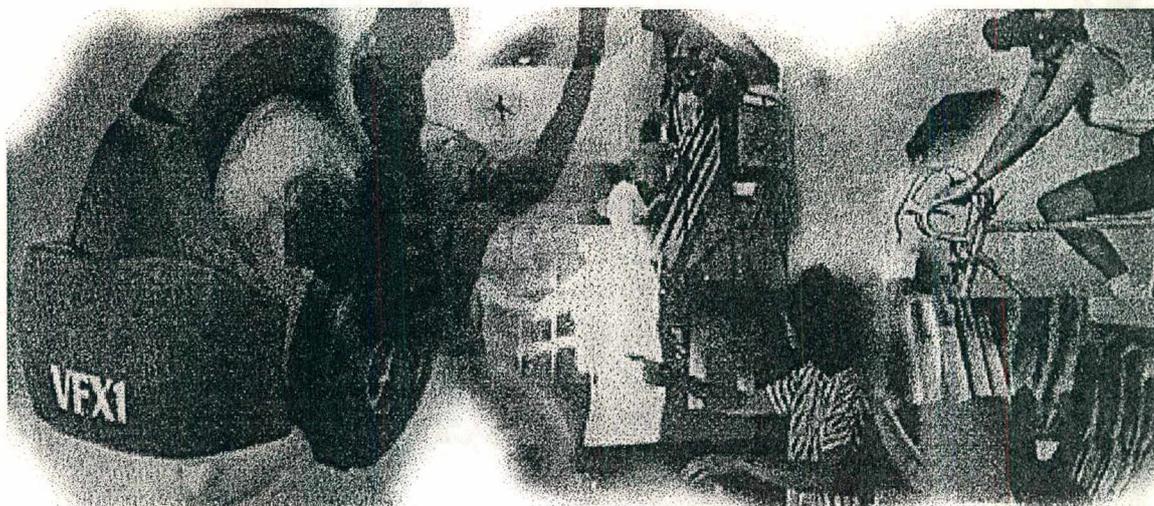
4.4.1 Aspectos visuais da RV.

A pretensão das ajudas visuais é criar uma visão estereoscópica, gerando duas imagens ligeiramente distintas, uma para cada olho; o método usado para misturar tais imagens é muito variado e compreende desde o uso de filtros polarizados, passando por sistemas de filtros *Anaglyph* (3d monocromático), até sistemas para forçar a vista do usuário. O capacete estereoscópico é usado para projetar seqüências estereoscópicas para a determinação da posição e do movimento da cabeça do usuário e para transmitir som ambiental.

A principal preocupação nesta área é o ponto de equilíbrio versus a performance da velocidade de recuperação, é a visão monoscópica versus a estereoscópica. Em muitas aplicações da realidade virtual, o *feedback* visual é requerido. De fato, as sugestões visuais são provavelmente o mais importante *feedback* requerido na realidade virtual. Para completar a realidade, os desenhos enviados à exibição devem ser feitos evitando a descontinuidade. Portanto, o ponto de equilíbrio entre o tempo de resposta e a resolução gráfica para gráficos de cenas de duas e três dimensões é pesquisado sob as perspectivas de *software* e *hardware*.

Os tipos de dispositivos visuais caracterizados são (Smith, Smith, Yang, 1995, p. 2):

Figura 27: Aspectos visuais da RV.



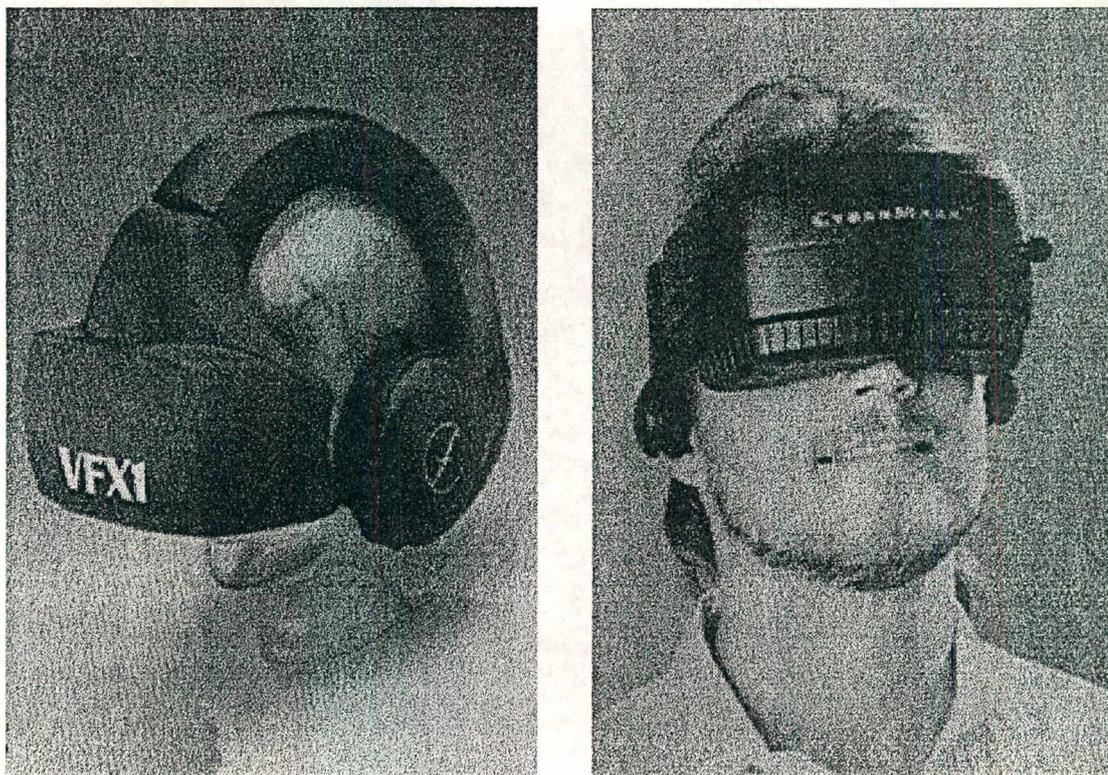
Fonte : Perez (1994).

- *LCD Flicker Lens* : Os óculos de flutuação LCD (monitor de vídeo de cristal líquido) têm a aparência de um par de óculos. Um foto-sensor é montado nas lentes do LCD com o único propósito de ler os sinais do computador. Estes sinais indicam às lentes do LCD se a luz passará através da lente direita ou esquerda. Quando se permite deixar passar a luz através da lente esquerda, o monitor de vídeo do computador mostra a cena ao olho esquerdo, que corresponde à cena que o usuário verá deste olho. Quando a luz passa através das lentes direitas a cena no monitor de vídeo é uma versão ligeiramente compensada da cena do olho esquerdo. Segundo Blanchard e Tsuneto, os óculos trocam as sinais entre as duas lentes a 60 Hertz, o que causa no usuário a percepção contínua de visão de 3D, via mecanismo de *parallax*.

- *Head Mount Display - HMD* : Coloca o monitor de vídeo na frente de cada olho do espectador durante todo o tempo. A visão do segmento do ambiente virtual gerado e exibido é controlada pela orientação de sensores montados no “capacete”. Os movimentos são reconhecidos pelo computador e uma nova perspectiva da cena é gerada. Em muitos casos, um conjunto de lentes óticas e espelhos são usados para ampliá-la e ocupar todo o campo de vista e para dirigir a cena aos olhos. São caracterizados os seguintes tipos de dispositivos:

- *LCD display HMD* : Este tipo de HMD usa tecnologia LCD para exibir a cena. Quando os *pixels* de cristal líquido são ativados, bloqueiam a passagem de luz. Milhares desses *pixels* são localizados em duas matrizes para cada exibição. Depois que o cristal líquido bloqueia a passagem de luz para exibir a cena, a luz deve ser refletida da matriz LCD para os olhos, provendo brilho para a cena.

Figura 28: *Head Mounted Displays - HMDs*



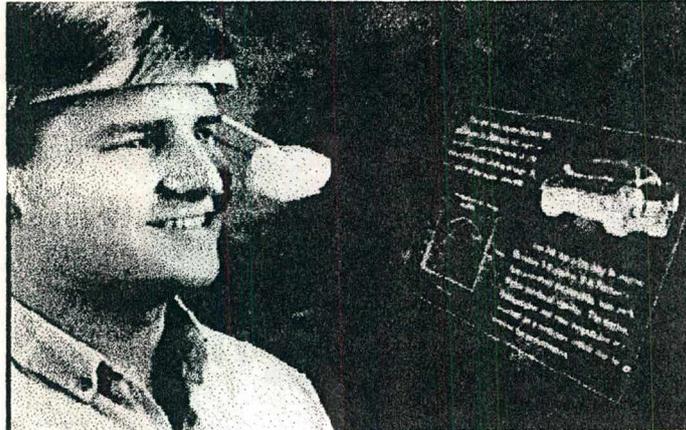
Fonte : Perez (1994).

➤ *Project HMD* : Este tipo de HMD usa cabos de fibra ótica para transmitir as cenas até o monitor de vídeo, que é similar ao de raios catódicos (CRT), excetuando a iluminação, por que neste caso o fósforo é iluminado pela luz transmitida através de cabos de fibra ótica. Cada fibra pode, idealmente, conter um *pixel*, exceto quando devido à limitação do custo de manufatura, cada fibra controla uma seção hexagonal de *pixels*.

➤ *Small CRT HMD* : Este tipo de HMD usa dois Monitores de Raios Catódicos (CRT) que são posicionados a um lado do HMD. Refletores de imagens são usados para dirigir a cena para o olho do usuário. De maneira diferente à projeção do HMD, onde o fósforo é iluminado pelos cabos de fibra ótica, aqui o fósforo é usualmente iluminado por um canhão de elétrons (Lane, 1993).

➤ *Single Column LED HMD* : Este tipo de HMD usa uma coluna de 280 LEDs. Um refletor oposto aos LEDs oscila rapidamente, refletindo a imagem para o olho do usuário. Os LEDs são atualizados 720 vezes por oscilação do refletor. Como a coluna LED atualiza para cada coluna do monitor de vídeo virtual, o refletor redireciona a luz para os olhos do observador, uma coluna de cada vez, para formar a imagem da janela virtual inteira (Aukstakalnis, Blatner, 1992).

Figura 29: *Single colum LED HMD*.



Fonte : Perez (1994).

• *Binocular Omni Orientation Monitor - BOOM* : Segundo Aukstakalnis e Blatner (1992), a *binocular* é montada pela união de uma armadura mecânica com sensores de *tracking* localizados nas junções. Um contrabalanço é usado para estabilizar o monitor; por isso é que quando o usuário libera o monitor, este dispositivo permanece no seu lugar. Para ver o ambiente virtual, o usuário pode pegar o monitor com segurança e pôr seu rosto acima deste. O computador pode gerar uma cena apropriada, baseada na orientação e posição da união do braço mecânico.

Figura 30: *Binocular Omni Orientation - BOOM*.



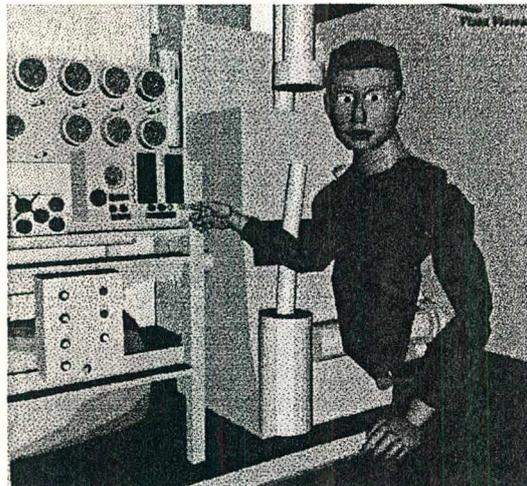
Fonte : Perez (1994).

4.4.2 *Técnicas gráficas*

• *Depth Cueing* : sugestão de profundidade é uma técnica que fornece uma perspectiva de 3-D de uma cena, que adiciona profundidade a uma figura de 2-D. Estas são as formas de adicionar tais perspectivas (Smith, Smith, Yang, 1995, p. 7):

►O primeiro método consiste na troca de cor dos pixels. Por exemplo, a fonte de luz localizada mais à distância tem um aspecto mais escuro que uma localizada perto do observador. Quando a cena é gerada em cores vermelho, verde e azul, a intensidade da fonte de luz localizada mais à distância do observador pode ser reduzida pela mesma equivalência que representa essa distância.

Fig. 31: Um agente pedagógico.



Fonte : Johnson (1998).

►O segundo método consiste na adição de cor na cena. Por exemplo, na luminosidade que deve existir entre a fonte de luz e o ponto de visão. O valor da cor que corresponde a essa fonte de luz, é a luminosidade acumulada no o ponto de visão. A sensação de profundidade é dada tanto pela intensidade da luz, como pelos efeitos de claro-escuro. Desta maneira, o usuário pode julgar a profundidade de uma cena e navegar através do mundo virtual com menos esforço.

- *Lighting Models* : A Iluminação é essencial na criação de uma imagem realística em 3-D. Em uma atmosfera escura, uma esfera tem um aspecto similar a um disco. Em outras palavras, uma cena de 3-D começa com uma cena de 2-D. Quando a luz brilha na esfera, alguma parte da luz é refletida difusamente e isso causa uma indicação de três-dimensões. A outra luz refletida permite ao observador acreditar que está vendo escura, e fornecendo, adicionalmente, informação espacial. Devido à complexidade da fórmula de iluminação, a computação da intensidade de luz para cada *pixel* reduz a taxa de atualização da janela. Quando a taxa de atualização baixa muito, as flutuações são perceptíveis e podem causar náuseas pelo movimento visual induzido. *A sensação de tontura ocorre sempre que o corpo recebe informação incompatível entre os olhos e a mente* (Foley apud Smith, Smith, Yang, 1995, p. 8).

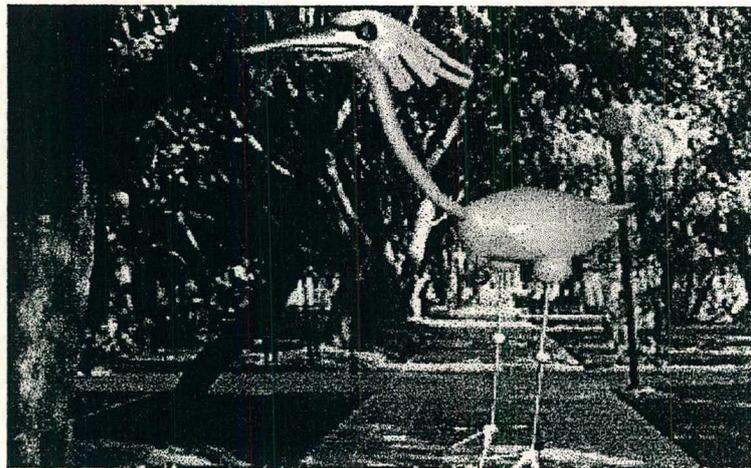
- *Shading*: O sombreado é usado em conjunto com a iluminação. Enquanto o modelo de iluminação é computado, a intensidade da luz, em cada vértice do polígono, é calculada. Dois tipos de sombreado podem ser usados para interpretar a cena. O primeiro é o *flat shading*, onde o polígono

inteiro é sombreado com base no valor de um dos vértices. O segundo é *Gouraud shading*, onde os *pixels* de cor, dentro dos polígonos, são linearmente interpolados, partindo da cor em direção a cada um dos vértices, para criar uma variação suave da sombra. Segundo Foley (1992), o método da interpolação linear, que requer reduzido poder computacional, é usado freqüentemente para simular cenas realísticas com boa performance.

- *Radiosity* : É mais freqüentemente usado para imagens estáticas. Esta técnica pré-calcula a interação da luz entre os objetos dos ambientes de 3-D. O cálculo da interação da luz para ambientes complexos toma um longo tempo. Contudo, após a conclusão do cálculo, o usuário pode ver, no vóo, seu meio ambiente, de qualquer ângulo, sem nenhuma outra computação exaustiva (Foley,1992).

- *Ray Casting* : É uma técnica de apresentação de cenas em tempo real. Traça-se um raio que parte do ponto de vista, através de um *pixel* do monitor de vídeo. Para realizar a interseção de um objeto definido no espaço virtual, a cor de um objeto fechado intersectado é registrada por aquele pixel do monitor de vídeo. Se o objeto é movido, a técnica *ray casting* pode traçar a nova posição do objeto, criando desta maneira uma cena dinâmica (Foley *apud* Smith, Smith, Yang, 1996, p. 9).

Fig. 32: Modelo combinado obtido por meio de técnicas gráficas e ferramentas da RV.



Fonte: Perez (1994).

4.4.3 Áudio em três dimensões

O objetivo da pesquisa na área de áudio é a simulação da origem do som. Segundo Aukstakalnis e Blater (1992) *já foi demonstrado que usando o som para fornecer informação suplementar ou alternativa para o usuário do computador, pode-se incrementar grandemente a quantidade de informação que este pode assimilar*. Isto não é menos verdadeiro no mundo virtual. Embora o ambiente virtual forneça uma variedade de estímulos visuais, a pessoa não pode ver o que

está atrás dela. Contudo, alguns podem escutar o que está atrás e isto deve ser assim no mundo virtual (Smith, Smith, Yang, 1995, p. 11). O principal problema na produção de som é a impossibilidade de sua repetição, quando previamente gravado, de forma que se mova de trás ou para frente do ouvinte, como quando este gira a cabeça. *Crystal River Engineering* tem desenvolvido um processo para produzir som, tal que pareça que está vindo de uma direção particular. Já que este som é computado e produzido em tempo real, não haverá problemas com sua repetição. Com técnicas básicas de gravação e técnicas de execução, tais como a maior parte das usadas no som estéreo, qualquer sensação de localização de som é restringida: diretamente para a esquerda, diretamente para a direita e para algum lugar no meio. Este “*algum lugar no meio*” pode ser percebido como um som vindo de todo o redor; contudo, quando se discute a localização do som tridimensional, aí está a pequena diferença entre o *aparecimento do som que está à frente da cabeça e o som que aparece como vindo de todas as partes* (Aukstakalnis, Blatner, 1992, p. 1).

O artifício para criar um verdadeiro som espacial interativo de três dimensões é, de fato, usar computadores para gerar sons em tempo real ao invés de contar com sons que são pré-gravados (Austakalnis, Blatner, 1992, p. 3). Na RV, o usuário pode ser capaz de mover-se em qualquer parte de um ambiente e manter a sensação de que o som está vindo de um lugar específico. O computador pode usar a combinação de *tracking* de posição/orientação com cálculos matemáticos.

Pesquisadores tais como Genuit e Gierlich (*apud* Aukstakalnis, Blatner, 1992, p. 3), Wrightman e Kistler (*apud ibid.*), têm criado modelos matemáticos que representam as várias modificações de sons que podem ser ouvidos em 3D. Esses modelos, compreendidos como áudio de “*impressão no ouvido*”, são chamados de *Head Related Transfer Function* (HRTFs). Os pesquisadores podem fornecer esses HRTFs, que são desenvolvidos através de técnicas similares a do *144-speaker*¹.

O *convoltrom* é um sinal de áudio digital (DSP) extremamente poderosa, que muda (envolve) uma fonte de som analógico usando HRTF para criar os efeitos de som

¹ Um sujeito é sentado em uma câmara sem eco. Depois, uma pequena sonda de microfones é localizada profundamente dentro de cada um dos ouvidos do indivíduo. Um tom é então tocado através de um dos 144 alto falantes posicionados ao redor dos ouvidos das pessoas, e o som é registrado através dos microfones. Este registro captura o tom depois que foi afetado pelo ouvido, the *pinna*, e o canal auditivo. Outro tom é tocado e registrado, e depois outro, assim sucessivamente.

O segundo estágio do experimento é remover os microfones e tocar no reverso os sons registrados para o sujeito, através de um par de audifonos. Assim, como por magia, os tons atuais aparecem como se estiverem vindo de um ambiente tridimensional ao redor do sujeito. Note que quando o sujeito escuta o registro feito do seu próprio ouvido, ele não tem problema em localizar o som. Ainda quando o registro feito para os ouvidos de uma pessoa é tocado no reverso para outra pessoa, as experiências do ouvinte não são tão ricas em termos de localização. Uma vez mais, isto mostra a *pinna*, isto é, o som tridimensional é tão individual como as impressões digitais.

tridimensional (Aukstakalnis, Blatner, 1992, p. 3). O som sintetizado por computador pode ser filtrado através do *Convoltrom* e localizado em um espaço ao redor do ouvinte.

O Virtual Audio Processing System (VAPS) mistura os mundos de gravação *binaural* não interativa e *Convoltrom*, como sinal de processamento para gerar sons vivos e campos de sons tridimensionais gravados. A literatura especifica que a “VAPS é usada para gravação de música, efeitos de som ou diálogo para formato *stereo*, tais como discos compactos, fitas VCR, discos de vídeo ou na radiodifusão” (Aukstakalnis, Blatner, 1992, p. 4).

O desenvolvimento de som tridimensional interativo está mais adiantado que sua contrapartida visual, por que tem a habilidade para criar som real (ou *hyper real*), alcançando-se assim as expectativas esperadas, conseguindo-se sua inclusão na tecnologia comum. Os fabricantes dos computadores pessoais reconheceram a importância do som e estão começando a incorporá-lo nos sistemas operacionais. Conforme o tempo passa, não se duvida de que o som gerado por computador possa tornar-se parte integrante da tecnologia do computador, assim como a voz e a música tornaram-se parte da tecnologia cinematográfica, aproximadamente 75 anos atrás.

4.4.4 Feedback tátil e de força

Uma das maiores reclamações a respeito das limitações dos pacotes de ambientes virtuais é a “*falta de tangibilidade*”. Embora a área de *feedback* tátil seja recente, tem produzido alguns resultados impressionantes. Não existem ainda, atualmente, interfaces construídas que possam simular as interações de forma, textura, temperatura, consistência e força (Smith, Smith, Yang, 1995, p. 15). Ter a capacidade de produzir interfaces realistas significa ter que produzir *feedback* de força tátil que corresponda aos objetos no mundo virtual (Brooks, 1995).

A área de tato tem se dividido em duas, diferentes entre si. O *feedback* de força trata de como o ambiente virtual afeta o usuário. O *feedback* tátil trata de como o objeto virtual é sentido.

- *Feedback de força* : Existem os sete tipos de dispositivos caracterizados por Smith, Smith e Yang (1995), que permitem ao usuário “sentir” certos aspectos do ambiente virtual:

- *Plataformas de moção*: A plataforma de moção foi originalmente desenhada para uso em simuladores de vôo, com os quais se treina os pilotos. A plataforma é arremessada por um conjunto de elevadores de braços hidráulicos. Como o movimento da exibição visual muda, a plataforma se balança e se movimenta em uma trajetória sincrônica para dar ao usuário uma “*sensação*” de que nesse momento está voando. Se os estímulos visuais mostram que o avião está descendo, os dispositivos hidráulicos não podem simular a descida. Contudo, ele dá sensações no ouvido médio que correspondem à cena visual, fazendo a simulação mais realista.

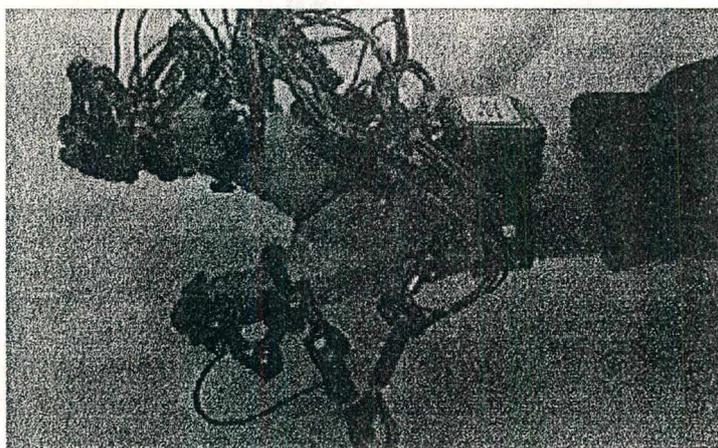
Fig. 33: Plataforma de moção.



Fonte : Manetta, Blade (1996).

• *Luvas*. Para a interação com pequenos objetos em um mundo virtual, o usuário pode usar uma ou várias luvas desenhadas para dar *feedback* sobre as características do objeto. Isto pode ser feito com um pistão pneumático montado na palma da luva (Gomez, Burden, Lagrana, 1995). Quando um objeto virtual é localizado na mão virtual, a mão do usuário pode fechar-se ao redor do objeto. Quando os dedos encontram a resistência de um objeto na realidade, a pressão no pistão é incrementada, dando a sensação de resistência do objeto virtual.

Fig. 34: Luvas para a interação com objetos no mundo virtual.



Fonte : Perez (1994).

• *Exoskeletons*. São também empregados para simular a resistência de objetos num mundo virtual. Um *exoskeleton* é basicamente um braço robótico que prende a pessoa.

Fig. 35: Exoskeleton



Fonte : Glossary of Virtual Reality Terminology. <http://ijvr.uccs.edu/manetta.htm>

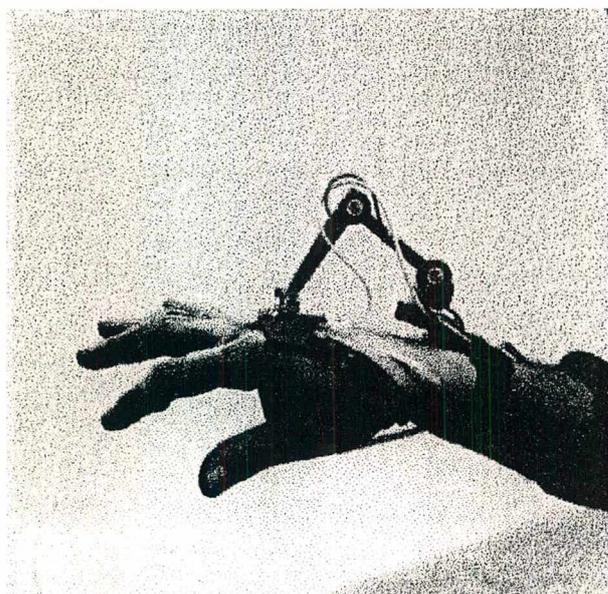
• *Butlers*. É basicamente um “robot” que fica no meio do caminho toda vez que o usuário tenta mover-se através de um objeto . Se o usuário estende sua mão para fora para tocar um muro, uma escrivaninha, ou qualquer outro objeto virtual, o “robot” *butler* pode pôr um objeto real na suposta localização desse objeto virtual.

• *Tactile Feedback*. Os *robot butlers*, em desenvolvimento, podem dar ao objeto, impressão de dureza e viscosidade, não apresentando a informação necessária para que os humanos o reconheçam, da mesma forma como ocorre com um objeto característico do mundo real. A textura e a temperatura são totalmente desconhecidas pelo usuário. Entretanto, é possível mostrar a temperatura por fios resistentes ao calor, semeados na superfície da luva.

• *Textura*. A textura de uma superfície é provavelmente uma característica difícil de simular. O sistema *Sandaper*, desenvolvido por um grupo de pesquisa que inclui pesquisadores do MIT e UNC, pode simular, exatamente, diferentes graus de lixa (Aukstakalnis, Blatner, 1992). Outros sistemas como o *Teletact Commander*, usam bexigas cheias de ar que são implantadas nas luvas ou transdutores elétricos capazes de prover a sensação de pressão ou vibração. Esses sistemas tiveram

problemas com a falta de segurança dos compressores e a interferência entre os campos dos transdutores electromagnéticos usados pelo sistema (Stone, 1993).

Fig. 36: Interfaces “Haptic”



Fonte : Manetta, Blade (1996).

Qualquer tentativa para modelar a textura de superfícies encara grandes desafios pela forma de funcionamento do sistema sensorial humano. Existem vários tipos de nervos humanos que servem para funções diferentes, incluindo: sensores de temperatura, sensores de pressão, sensores de variação rápida de pressão, sensores para detectar os movimentos dos pêlos da pele. Todos esses fatores humanos devem ser tomados em consideração quando se tenta desenvolver a interface tátil homem-máquina.

4.4.5 Dispositivos de navegação

Os *Tracking Devices* são usados para dar a sensação de estar caminhando e navegando. Usa-se, neste caso, um computador com grande capacidade de processamento numérico para simular os processos associados com um sistema de realidade virtual. O propósito de um dispositivo de *tracking* é determinar a posição x , y , e z , e a orientação (*yaw*, *pitch*, e *roll*) de algumas partes do corpo do usuário em referência a um ponto fixo. Muitos tipos de dispositivos de interação de realidade virtual podem ter um *tracker* sobre ele.

Os HMDs precisam de um *tracker*, de maneira que a observação possa ser atualizada pela orientação da cabeça do usuário, em tempo real. Os *Datagloves* e os *Joystick* de vôo também possuem *trackers*, de maneira que aquele ícone virtual de “mão” possa seguir as mudanças de posição e orientação das mãos do usuário real. O vestuário para todo o corpo pode ter muitos *trackers* sobre si,

assim como também o pé virtual, a cintura, as mãos e a cabeça, que são todos escravos do usuário humano.

Figura 37: Óculos com *trackers* de cabeça.



Fonte : Perez (1995)

Segundo Baratoff e Blansteen (*apud* Smith, Smith, Yang, *op. cit.*), quando se desenham ou avaliam sistemas de RV que precisam receber informação de *tracking*, é importante pôr atenção no atraso (*latency*), na taxa de atualização, na resolução e exatidão do sistema de *tracking*. Latência é o “atraso entre a mudança da posição e orientação do objetivo que será rastreado e o resultado de cálculo de mudança no computador”. Se a latência é maior que 50 milissegundos, este pode ser percebida pelo usuário e pode causar igualmente náusea ou vertigem. A taxa de atualização é a taxa na qual o *tracker* reporta dados para o computador, sendo a freqüência típica entre 30 e 60 atualizações por segundo.

A resolução pode depender do tipo de *tracker* usado e a exatidão deve, usualmente, decrescer quando o usuário se afasta do ponto fixo de referência. Os dispositivos de *tracking* de seis-graus-de-liberdade chegam em vários tipos de tecnologia, que são devidamente caracterizados por Smith, Smith e Yang (1995, p. 19) e descritos a seguir:

- *Mechanical trackers*: Os *trackers* mecânicos são similares a um braço de “robot” e consistem em estruturas unidas com ligações rígidas, como um suporte de base e um “fim ativo” que é ligado à parte do corpo associada (Sowizral, 1995), freqüentemente, à mão.

Este tipo de *tracker* é rápido, exato e não suscetível a que o usuário possa se sentir nervoso. Contudo, também cuida de estorvar o movimento do usuário, que tem uma área restrita de

operação; e o problema técnico do *tracking*, de rastrear a cabeça e as duas mãos, simultaneamente, é ainda difícil.

- *Eletrromagnetic trackers* : Um *tracker* electromagnético permite que várias partes do corpo sejam rastreados simultaneamente e podem funcionar corretamente se os objetos surgem entre a fonte e o detector. Neste tipo de *tracker*, a fonte produz três campos electromagnéticos, cada um dos quais perpendicular aos outros. O detector no corpo do usuário mede a atenuação (a resistência e a direção do campo electromagnético) e envia esta informação de volta para o computador. O computador triangula a distância e a orientação dos três eixos perpendiculares no detector relativo para os três campos electromagnéticos produzidos pela fonte.

Os sistemas de *tracker* electromagnético são populares, mas são inexatos. Eles sofrem de problemas de latência, distorção de dados e podem sofrer interferência devido a grande quantidade de metal que rodeia a área de trabalho, ou devido a outros campos electromagnéticos, como aqueles das outras peças do equipamento de um grande computador. Adicionalmente, o detector pode estar restrito dentro em uma faixa de intervalo da fonte ou não ser capaz de enviar de volta informação precisa (Sowizral, 1995).

- *Ultrasonic Trackers*: consistem em três emissores de ondas de sons de alta frequência em formação rígida, de maneira que a fonte para esses três receptores estão também em uma disposição rígida para o usuário. Existem duas formas para calcular a posição e orientação usando *trackers* acústicos. A primeira é chamada “*phase coherence*”. A posição e a orientação são detectadas pela computação da diferença entre os períodos de ondas de som que alcançam o receptor do emissor, comparadas com as ondas de som produzidas pelo receptor. O segundo método é o “tempo de voo”; mede o tempo que o som emitido pelos transmissores leva, em um momento conhecido, até alcançar os sensores. Somente *um transmissor é necessário para calcular a posição, mas o cálculo de orientação requer a busca das diferenças entre os três sensores* (Baratoff e Blanksteen *Apud* Smith, Simith, Yang, 1995, p. 22).

Diferente dos *trackers* electromagnéticos que são afetados pelas grandes quantidades de metal; os *trackers* ultra-sônicos não sofrem este problema. Contudo, os *trackers-ultrasônicos* também ocupam um volume de espaço de trabalho, necessitando para operar, que haja uma linha-de-mira do emissor para o detector. Os *trackers* de tempo de voo têm, usualmente, uma baixa taxa de atualização, e os *trackers* de fase de coerência estão sujeitos a erros de acumulação. Adicionalmente, segundo Sowizral (1995), ambos os tipos são afetados pelas mudanças de temperatura e pressão e segundo Baratoff e Blanksteen (*apud ibid.*), pelo nível de umidade no ambiente de trabalho.

- *Infrared Trackers* são dispositivos ópticos que utilizam vários emissores fixos numa posição, enquanto as câmaras ou “*quad cells*” recebem a luz infra vermelha. Para fixar a posição do *tracker*, um computador pode triangular a posição, baseada nos dados das câmaras. Este tipo de *tracker*, segundo Baratoff e Blanksteen, não é afetado por uma grande quantidade de metal, tem uma alta taxa de atualização e baixa latência. Contudo, o emissor tem que ser dirigido na linha de mira das câmaras ou celas quadrangulares. Adicionalmente, qualquer outra fonte de luz infravermelha, luz de alta intensidade, ou outro brilho ofuscante podem afetar a correção das medições.

- *Inertial Trackers*; finalmente, existem vários tipos de dispositivos de *tracking* inerciais que permitem ao usuário mover-se em um área relativamente grande, por que não existem *hardware* ou cabos entre o computador e o *tracker*. Segundo Baratoff e Blanksteen (*apud ibid.*), os *trackers* inerciais aplicam o princípio de conservação do momento angular. Giroscópios em miniatura podem ser associados aos HMDs, mas eles cuidam da direção (aproximadamente a 10 graus por minuto) e são sensíveis à vibração. *Yaw*, *pitch* e *roll* são calculados por medição da resistência do giroscópio para mudar a orientação. Se o *tracking* de posição é desejado, um tipo adicional de *tracker* pode ser usado.

Para Sowirzal (1995), os aceleradores são outra opção, mas eles permitem também dirigir e a saída deles é distorcida pelo campo gravitacional.

4.4.6 Dispositivos de interação

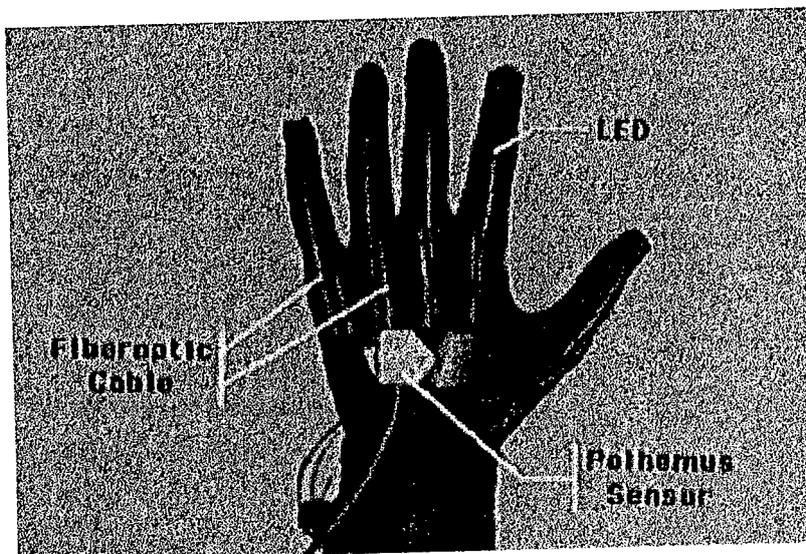
A RV e os ambientes virtuais foram além das interfaces típicas do realismo da metáfora visual. Apontar e “*clicar*” com o *mouse* é maravilhoso em algumas situações, mas não o suficientemente próximo para um ambiente imersivo. Deste modo, em vez de *keyboard* e *mouse*, os pesquisadores têm desenvolvido luvas, *mouse* de 3D, *joystick* flutuante e reconhecedores de voz.

Luvas. Para sentir a flexão dos dedos, três tipos de tecnologias de luvas têm surgido: sensores de fibras óticas, medição mecânica e medição de força.

A *Dataglove* (desenvolvido pela VLP Research) é uma luva fabricada de *neoprene* com dois laços em cada dedo. Cada laço é dedicado a uma fibra ótica para cada nó, e isto pode ser um problema se o usuário tem uma mão muito grande; o laço pode não corresponder muito bem à posição atual do nó e o usuário pode não ser capaz de produzir gestos precisos. No final de cada laço está situado um LED e no outro extremo está um fotosensor. O cabo de fibra ótica tem pequenos cortes ao longo de sua longitude. Quando o usuário curva o dedo, luzes escapam do cabo de fibra ótica através desses cortes. A quantidade de luz que passa pelo fotosensor é medido e convertido em medição de quanto esse dedo é curvado (Aukstakalnis, Blatnĕr, 1992). O *Dataglove* requer recalibração para cada usuário (Hsu *apud* Smith, Smith, Yang, 1995, p. 25). “*As implicações do uso desses dispositivos por*

longo tempo - efeitos de fadiga, recalibração durante a sessão - ainda não foram pesquisados” (Wilson, Conway, *apud ibid.*).

Figura 38 : Luva com sensores nos dedos.



Fonte : Perez (1994).

O *Powerglove* é menos exato que o *Dataglove* e também precisa de recalibração para cada usuário, mas é mais áspero que o *Dataglove*. O *Powerglove* usa medidor de tensão para a flexão de cada dedo.

Fig. 39 : *Power Globe* e *Shutter Glasses*



Fonte : Manetta, Blade (1996).

Uma pequena tira de plástico *mylar* revestida com uma tinta condutora de eletricidade é colocada ao longo de cada dedo. Quando o dedo está reto, uma pequena corrente elétrica passa

através da tinta que fica estável. Quando o dedo está curvado, o computador pode medir a mudança da resistência elétrica na tinta (Aukstakalnis, Blatner, 1992).

O *Dexterous hand Master* (DHM) não é exatamente uma luva, mas uma armadura que junta os dedos com uma correia de material de *nylon* denominado *velcro*. Um sensor mecânico mede a flexão do dedo. De maneira diferente da *Dataglove* e *Powerglove*, o DHM é capaz de detectar e medir de lado-a-lado o movimento de um dedo. A outra luva só mede a flexão do dedo. O DHM é mais exato que outras luvas e menos sensível quanto ao tamanho da mão do usuário, mas pode ser mais complicado de trabalhar.

Para Wilson e Conway (1991), a principal qualidade dos diferentes tipos de luvas é que elas provêm um dispositivo de interação mais interativo que um *mouse* ou um *joystick*. Isto por que as luvas permitem que o computador leia e represente gestos de mãos; objetos no ambiente podem ser “apanhados” e manipulados, o usuário pode apontar na direção do movimento desejado, as janelas podem ser dispensadas, etc.

Segundo Dennehy (*apud* Smith, Smith, Yang, 1995, p.17), “os gestos podem ser naturais e intuitivos em um ambiente virtual particular. Ações podem ser representadas visualmente e ser incrementais, imediatas e reversíveis para dar à pessoa a impressão de atuar diretamente em um ambiente”. Wilson e Conway(1991) dizem que um conjunto básico de comandos gestuais para luvas foram desenvolvidos, mas um trabalho maior é necessário para expandir o conjunto além do simples mapeamento corrente. Outra área a ser melhorada é o *feedback* para ajudar o usuário na coordenação mão-olho e para permitir ao usuário perceber quando um objeto foi apanhado com sucesso.

3-D mice: existem disponíveis em várias marcas, todas elas basicamente na mesma tecnologia: um *mouse* ou *trackball* foi modificado para incluir o *tracker* de posição e alguma espécie de orientação (Aukstakalnis, Blatner,1992). Este *mouse* modificado é razoavelmente intuitivo e familiar para os usuários - precisa-se de um simples empurrão do *mouse* na direção em que o usuário precisa se mover -. Contudo, segundo Hsu (*apud* Smith, Smith, Yang, 1995, p. 27), esse *mice* não é muito usado para outras interações que não sejam a navegação e a seleção de objetos.

Joysticks: a categoria final do dispositivo de interação é o bastão ou *joystick* flutuante. Este dispositivo trabalha, basicamente, como um *joystick* convencional, mas não está fixado a uma base que geralmente é assentada no topo da mesa. Em vez disso, o *joystick* é equipado com um *tracker* de orientação para que o usuário simplesmente segure-o na mão e o balance. Segundo Hsu (*apud* Smith, Smith, Yang, 1995, p. 28), a maior parte de *joysticks* volantes também tem muitos botões no bastão, de forma semelhante a um *mouse* para “clicar” ou selecionar.

4.5 Realidade virtual e construção de conhecimento

A seguir, será explorado o potencial que a tecnologia da RV oferece para a construção do conhecimento:

4.5.1 Aprendizagem por construção de conhecimento e RV imersiva

Com algumas exceções (Bricken, Bricken e Bryne, Winn *apud* Winn, 1993), os educadores não têm feito conexão entre as teorias construtivistas da aprendizagem e a RV; deste modo, perdeu-se a oportunidade de prover as bases teóricas para a aplicação da RV em educação. A possibilidade de que a RV possa se converter em outro recurso educacional para o projeto e seu uso intensivo em sistemas educacionais baseados em tecnologia, está atualmente submetendo-se a uma revisão radical. Segundo Salzman, Dede e Loftin (1995, p. 1) a Realidade Virtual sensorial imersiva tem-se agenciado como uma poderosa ferramenta de ensino e treinamento, pelas seguintes razões:

- a RV suporta a experiência direta de um fenômeno,
- é tridimensional,
- facilita múltiplos *frames* de referências,
- oferece comunicação multisensorial, e
- é fisicamente imersiva.

A interface da Realidade Virtual tem o potencial complementar para as abordagens atuais de instrução da ciência, através da criação de ambientes imersivos de consulta, que facilitem a construção de conhecimento dos aprendizes. Eles desenvolvem, por si mesmos (ex. um estudante torna-se um objeto dotado de massa, suportando colisões em uma realidade artificial com fricção), intuições e experiências a respeito de como o mundo natural opera. *Um bom desenho instrucional pode fazer com que os aspectos do ambiente virtual sejam usados na compreensão dos princípios científicos mais importantes para os sentidos do aprendiz* (Dede, Salzman, Loftin, 1995a, p. 1).

“O desenvolvimento da alta performance dos computadores e comunicações está criando uma nova mídia, semelhante à *WorldWide Web* e à RV. Essa nova mídia permite novos tipos de mensagens e experiências; por exemplo, interações interpessoais através de canais de redes permitem a formação de comunidades virtuais. As classes inovativas de pedagogia tornam-se mais poderosas por essa mídia emergente, mensagens e experiências tornam possível a evolução de grupos sincrônicos e formas de educação à distância centradas na apresentação – as quais reproduzem o ‘*ensino por dizer*’ tradicional cruzando barreiras de espaço e tempo – em um paradigma educativo alternativo: *a aprendizagem distribuída*. Em particular, avanços na aprendizagem colaborativa suportada por computador,

multimídia/hipermídia, e simulação experiencial, oferecem o potencial para criar ‘ambientes de aprendizagem através de fazer’ disponíveis em qualquer lugar e tempo de demanda” (Dede, 1996, p. 1).

Atualmente, o uso da tecnologia da informação para melhorar os ambientes de aprendizagem constructivista tem-se centrado na criação de ferramentas computacionais e representações virtuais que os estudantes possam manipular (Dede, 1995, p. 1). Por exemplo, muitos argumentos e pontos de discussão dos artigos em tecnologia educacional descrevem as instanciações relativas à classificação de tecnologia de informação, conforme citado por Perkins’ (1991): Bancos de informação, plataformas de símbolos, kits de construção e administração de tarefas. Como interpretação da experiência dos aprendizes para o refinamento do seu modelo mental, as ferramentas computacionais que podem complementar a memória e a inteligência humana já estão disponíveis. Paralelamente, *objetos transicionais (semelhantes às “tartarugas” Logo) são usados para facilitar a transferência de experiência pessoal em símbolos abstratos. Assim, a aprendizagem construtivista, melhorada pela tecnologia, se focaliza, correntemente, em como as representações e aplicações podem mediar interações entre os aprendizes e os fenômenos naturais e sociais* (Dede, Salzman, Loftin, 1995b, p. 1).

A chave da compatibilidade da RV com o construtivismo reside na noção de imersão. As experiências em primeira-pessoa permitem a realização de muitas atividades das pessoas no mundo e a aprendizagem a respeito deste.

“As experiências em primeira pessoa ocorrem quando nossa interação com o mundo não envolve reflexo de consciência ou uso de símbolos. De acordo com a teoria construtivista, a construção de conhecimento surge das experiências de primeira-pessoa, aquelas que nunca podem ser inteiramente compartilhada. A RV imersiva permite experiências em primeira-pessoa pela eliminação de interfaces que atuam na interação usuário-computador. Nisto a RV é singular. Ela permite uma experiência sintética, que permite a pessoa obter significado próximo do que se obtém no mundo real” (Winn, 1993, p. 15).

A imersão em um mundo virtual permite construir conhecimento a partir de uma experiência direta e não de uma descrição da experiência. Qualquer aprendizado é mediado por um sistema de símbolos, seja texto, linguagem falada ou pelo computador, e é inevitavelmente uma reflexão da experiência do outro (Casas, Fialho, Maia, 1998, p. 16). Qualquer sinônimo usado em um sistema simbólico para comunicar a respeito do mundo, foi construído por alguma pessoa e nunca poderá permitir que outra pessoa conheça o mundo de um indivíduo como o conhece ele mesmo. A teoria construtivista descreve como os mundos da primeira pessoa chegam a ser internalizados e

argumenta que a imposição de representações simbólicas requer *negociação a respeito da significação dominante para o compromisso* (Flores, Winograd, 1989, p. 79).

“A imersão em RV permite uma classe de interação semelhante à interação natural com os objetos, com os quais os participantes interagem no mundo real. Se a cognição é não-simbólica e a aprendizagem vinculada à ação, então, através da interação com o mundo virtual, é que o conhecimento é construído. A imersão ou sentido de “*presença*”, ou sentimento de estar dentro e circundado pelo meio-ambiente virtual é analisado em termos de diferenças individuais, motivação, características visuais do meio-ambiente, interatividade e o papel das sensações vestibulares na organização de uma Gestalt, fora do mosaico de instantâneos visuais de nosso meio-ambiente” (Psozka, 1996, P. 1).

Contudo, a *RV* multi-participante, em que um grupo de participantes *habita o mesmo mundo, ao mesmo tempo, permite que a negociação de significação* (Flores, Winnograd, 1989, p. 100) *aconteça por meio da comunicação entre participantes ou conversação* (Witney-Smith, 1996, p.3).

Papert e seus colegas usam a palavra “*construcionismo*” para *descrever a construção do conhecimento que surge da interação física com os objetos no mundo*. A *RV* imersiva permite que as interações físicas e perceptuais ocorram.

A extensão da *RV* pode simular o mundo real e permite que os estudantes aprendam quando estão situados num contexto onde o que eles aprendem será aplicado. A aprendizagem situada é mais relevante e bem sucedida que a aprendizagem fora do contexto².

A pesquisas relatadas por Dede, Salzman e Loftin (1995, p. 6) sugerem que a *imersão multisensorial para aprendizagem depende do acionar de fatores simbólicos e sensoriais*. Por meio da indução na imersão ativa se permite ao participante o acesso num ambiente virtual, para realizar ações novas com *conseqüências intrigantes*. Por exemplo, quando uma criança está aprendendo a andar, o grau de concentração nesta atividade é extraordinário. A descoberta de novas atividades altamente motivantes para a formação do ambiente permitirá a focalização da atenção em uma forma sustentada.

Em contraste, a indução dos participantes na imersão simbólica envolve o engatilhamento de poderosas associações semânticas via conteúdo de um ambiente virtual. Por exemplo, como ilustração, a leitura de novelas de horror à meia noite, em uma casa estranha, constrói

² Conforme ao abordado no capítulo “2.3.4 *perspectivas cognitivas e construtivistas da aprendizagem*” desta pesquisa.

uma montagem de uma cena de terror. *Invocando arquétipos intelectuais, emocionais e normativos, ocorre a experiência virtual de uma pessoa, a que envolve uma complexa sobreposição de modelos mentais associativos* (Dede, Salzman, Loftin, 1995, p. 6).

Em um ambiente de Realidade Virtual, os aprendizes podem mover-se e centrar sua atenção a uma velocidade variável e o *designer* pode aumentar esta saliência pelo uso de sugestões para transferir representações simultâneas e múltiplas. A nova perspectiva para uma mesma experiência é a produção de um fenômeno natural, para que em vez de atuar como um observador passivo, o aprendiz seja um sujeito ativo. Esta experiência resulta intrinsecamente motivante³. Dados traduzidos (ex. aceleração) em representações multisensorias de conceitos abstratos são também um poderoso meio para melhorar a compreensão. Sob essas condições, os aprendizes são capazes de construir *modelos mentais de fenômenos, que não têm contrapartida na sua experiência de todos os dias* (Dede, Salzman, Loftin, 1995, p. 1).

Devido ao fato de que o meio ambiente virtual é computado a partir de dados, permite ao participante três classes de experiência de construção de conhecimento que não estão disponíveis no mundo real, mas possuem um inestimável potencial na educação: Esses conceitos são denominados “Dimensão”, “Transdução” e “Reificação” (Winn, 1993, p. 16):

- a imersão em RV permite mudanças radicais nas dimensões relativas do participante e dos objetos virtuais. No mundo real, um objeto parece maior quando uma pessoa se aproxima e menor quando se desloca para longe. Contudo, existem limites para ambos os extremos. Há um ponto no qual a pessoa não pode se aproximar mais de um objeto físico e este ponto marca a dimensão máxima aparente do objeto. Igualmente, há um ponto onde o objeto desaparece enquanto a pessoa se distancia dele. Em um mundo virtual, de maneira diferente, a pessoa pode aproximar-se e afastar-se infinitamente dos objetos, permitindo grandes mudanças na dimensão do mesmo. Por exemplo, preferivelmente antes de se bater contra a parede virtual, pode se obter aproximações, de maneira que detalhes cada vez menores do material do qual é constituído podem ser revelados. Pode-se ver a estrutura celular de um painel de madeira, e, igualmente, entrar nas moléculas e átomos dos quais está basicamente composto. No outro extremo, pode-se ampliar de uma parede ao exterior de uma casa, uma cidade, um país e do planeta que se deseja, não violando ainda nenhuma das quatro condições para a imersão⁴.

³ Motivação: os aprendizes são intrigados por interações com ambientes imersivos bem desenhados, induzindo-os a investir maior tempo e concentração na tarefa (Pimentel, Texeira, 1993).

⁴ Ver o *Cosmic Zomm*, produzido pelo *National Film Board of Canada*, que conduz esta idéia além de qualquer descrição escrita.

As vantagens de semelhantes mudanças de dimensão para a educação são significativas. É possível para os estudantes entrar em um átomo, inspecioná-lo e trocar os elétrons nas suas órbitas, alterar as valências dos átomos e sua capacidade de combinar-se para formar moléculas. No outro extremo, é possível para os estudantes terem noção das dimensões e distâncias relativas entre os planetas do sistemas solar, por vôos de uns para outros.

- os transdutores semelhantes aos *eyephones* e *earphones* são usados, em *hardware* de RV, para apresentar informação aos participantes e para converter o comportamento dos participantes em comandos de interpretação de *software*. Os transdutores são dispositivos que convertem informações não disponíveis aos órgãos dos sentidos em outras formas que o são.

- mudanças em dimensão e *transdução* dão acesso em primeira-pessoa às experiências que de outra maneira os estudantes não poderiam ter. Algumas destas experiências surgem das simulações de aspectos de objetos reais e eventos. Outras surgem de representações em formas perceptíveis, através da *transdução* de objetos e eventos que não possuem forma física, tais como equações algébricas ou população dinâmica. “*Reificação*” é o processo de criação dessas formas perceptíveis. A *reificação* é colocada em contraste com a simulação. Na simulação, o mundo virtual contém *facsímls* de objetos reais e dos seus comportamentos. Sua vantagem é que os estudantes podem interagir com eles seguramente; e às vezes, a RV é mais barata para se construir simuladores físicos. Contudo, o poder da RV é, freqüentemente, desperdiçado quando usado para simulações que podem ser realizadas por meio de simuladores tradicionais.

Através da avaliação⁵ do desenho interativo *Learner-centered*, Salzman, Dede e Loftin (1995, p. 4) relatam ter ganho habilidade para a *compreensão da natureza da usabilidade e para a aprendizagem em realidades virtuais educacionais*. A lista não é exaustiva, mas fornece uma amostra das lições a serem aprendidas:

⁵ Avaliações formativas *learned-centered* estão orientadas a coletar as instâncias que guiam o refinamento das interfaces do usuário, como proposto por Soloway, autor referenciado por Dede, Salzman e Loftin (1995), que afirmam ter identificado quatro importantes dimensões junto às quais se avaliam as tecnologias educacionais:

- *usabilidade*: para avaliar interfaces de usuários por medição de performance nas tarefas de usabilidade, proporções de erros e proporções de subjetividade para facilitar o uso.
- *aprendizado*: para determinar se os estudantes progredirão através das tarefas de aprendizagem dentro do meio ambiente e demonstrar que sua aprendizagem pode ser aplicada para outro domínio específico.
- *usabilidade vs aprendizado*: para começar a compreender a relação entre usabilidade e aprendizagem e identificar quando estas duas metas entram em conflito. Esta interação cria a necessidade de distinguir o desenho *learner-centered* do desenho *user-centered*.
- *utilidade educacional*: para demonstrar que o sistema é melhor (ou pior) ensinando ferramentas e outras estratégias pedagógicas, comparadas com a qualidade e eficiência de aprendizagem entre diferentes alternativas considerando custo e complexidade.

- usabilidade: a entrada de voz oferece um suplemento desejável para dispositivos físicos de entrada da RV, os quais comumente são restritos em fidelidade e versatilidade. Adicionalmente, a interação multimodal e multisensorial pode sugerir uma interação refinada.
- aprendizagem: uma experiência multisensorial motiva os estudantes e direciona sua atenção. Enquanto a imersão cria uma experiência mais íntima com o fenômeno, este apresenta dificuldades para relacionar as atividades de aprendizagem suplementares, tais como, continuar instruções escritas, completar questionários ou comunicar-se com um instrutor ou colega sem estar imerso na RV.
- usabilidade e aprendizagem: limitações ópticas nos HMDs atuais causam desconforto e fadiga a muitos usuários. Desde que o *display* visual é uma parte integrante da interação e comunicação da informação em realidades virtuais, essas limitações estorvam a usabilidade e a aprendizagem. Elas também originam restrições no tempo que os estudantes esperaram investir no ambiente de RV.
- usabilidade vs aprendizagem: como uma poderosa expectativa, a usabilidade geralmente aparece para facilitar a aprendizagem. De qualquer modo, estas são as instâncias nas quais a aprendizagem e a usabilidade entram em conflito. Consequentemente, todas as decisões de *design* e avaliação são guiadas da seguinte forma:
 - a usabilidade é um meio para o aprendizado, mas não o assegura.
 - soluções para problemas de usabilidade podem ser avaliadas em termos de seu potencial de impacto sobre o processo de aprendizado.

Para avaliar a *utilidade da experiência multisensorial* (Salzman, Dede, Loftin, 1995, p. 3), foram formados três grupos de assuntos, diferenciados pelo controle de sugestões que os estudantes receberam, enquanto executavam suas tarefas de aprendizagem:

- *sinais visuais*;
- *sinais visuais e auditivos*;
- *sinais visuais, auditivos e sinais "haptic"*.

As *características chave* que a RV adiciona à mídia educativa atual são (Dede, Salzman, Loftin, 1995b, p. 2):

- imersão: a impressão subjetiva de que o aprendiz está num "*mundo*" pormenorizado e suficientemente realístico para inibir a suspensão de descrença. Também, dentro do *display head-mounted*, o foco de atenção do aprendiz é capturado no mundo virtual, fora de distrações que se produzem em qualquer outro tipo de ambiente educacional.

- telepresença: presença simultânea em um ambiente virtual para aprendizes geograficamente separados.
- estimulação multisensorial: por via de interfaces de RV, os estudantes podem interpretar exibições visuais, auditivas e tácteis para obter informações, enquanto usam seus sistemas sensoriais próprios para navegar e controlar objetos em um ambiente sintético,
- motivação. os aprendizes estão intrigados por interações com ambientes imersivos bem desenhados, induzindo-os a gastar mais tempo e concentração na tarefa potencialmente profunda de aprendizagem e memória.
- representações múltiplas e *frames* tridimensionais de referência. As metáforas espaciais podem melhorar significativamente os dados e melhorar a percepção qualitativa.

4.5.2 Características das atuais interfaces da RV.

Foram identificados os seguintes tópicos das características das interfaces de Realidade Virtual (Dede, Salzman, Loftin, 1995, p. 6):

- os estudantes exibem visíveis diferenças individuais nos seus estilos de interação, habilidades para interagir com ambientes em 3-D. e susceptibilidade para doenças de simulador.
- a imersão não apresenta desafios para a administração do ensino (por exemplo, os estudantes no *head-mounted display* não estão habilitados para acessar instruções ou completar questões escritas). As interações verbais trabalham bem.
- as limitações de desenhos físicos e óticos, nos *head-mounted displays* de hoje em dia, podem causar desconforto para usuários. Desde que o *display* visual é uma parte integrante para a interação e comunicação de informação nesse ambiente de aprendizagem, essas limitações são um obstáculo freqüente para a usabilidade e a aprendizagem.
- a propagação das lições sobre sessões múltiplas de RV parecem ser mais efetivas que a cobertura de muitos tópicos em uma sessão simples. Acredita-se que fatores semelhantes à fadiga e sobrecarga cognitiva no domínio da interface influenciam esses resultados.

4.5.3 Aprendizagem e representação de conhecimento

O desenvolvimento de uma teoria da aprendizagem que cubra uma ampla faixa de tópicos, interesses e atividades de matérias difíceis e abstratas, pode ser melhorado pela “imersão” multisensorial (baseado em representações em 3-D; perspectivas múltiplas e *frames* de referência; interfaces multimodais; *feedback* visual, auditivo e *haptic* simultâneo e tipos de interação não

disponíveis no mundo real). *Os temas ilustrativos aplicáveis a mundos virtuais criados são* (Dede, Salzman, Loftin, 1995a, p. 5):

- estímulos multisensoriais comprometem os aprendizes, direcionando sua atenção a comportamentos e relações importantes, ajudando-os na melhor compreensão de diferentes perspectivas sensoriais, prevenindo erros de interação através de estímulos de *feedback* e melhorando a facilidade de uso.
- a introdução de novas representações e perspectivas pode ajudar os estudantes a melhorar sua perspicácia para remediar concepções erradas, formadas através da instrução tradicional (ex. muitas representações usadas pelos físicos são percebidas erradamente pelos aprendizes), e também ajudar os aprendizes no desenvolvimento de modelos mentais corretos. As pesquisas indicam que as representações qualitativas incrementam as características cruciais, decisivas para representações fenomenológicas e tradicionais.
- permitir a representação multimodal (comandos de voz, gestuais, menus, controles virtuais e controles físicos) facilita a usabilidade e parece melhorar a aprendizagem. Os comandos multimodais oferecem flexibilidade individual, permitindo adaptar a interação para suas próprias preferências e distribuir a atenção quando se desenvolvem as atividades de aprendizagem. Por exemplo, alguns aprendizes preferem usar comandos de voz por que assim não precisam redirecionar sua atenção de um fenômeno de interesse para um menu do sistema. (De qualquer modo, se os mundos virtuais são desenhados para aprendizagem colaborativa, a voz pode ser uma alternativa menos desejável).
- algumas experiências iniciais, no trabalho com estudantes e professores, sugerem aprendizagem colaborativa, podendo ser realizada com dois ou mais estudantes trabalhando juntos e alternando-se para *“guiar a interação”*, *“lembrar as observações”* e *“experimentar as atividades”* na RV. Ampliando-a isto para a colaboração entre múltiplos aprendizes compartilharem ambientes sintéticos, pode mais adiante incrementar os resultados do aprendizado.
- em geral, a usabilidade dos ambientes virtuais aparece para melhorar o aprendizado. Contudo, otimizar a interface para usabilidade não significa necessariamente, otimizar para a aprendizagem. Foram achadas instâncias nas quais as trocas para fazer as interfaces do usuário mais usáveis, podem, de fato, perturbar o aprendizado.

4.6 Alguns problemas da RV em aberto

A tecnologia atual da RV imersiva tem muitas limitações, que podem impedir seu uso na aprendizagem (Thomas e Stuart, Wickens *apud* Salzman, Dede, 1995, p. 1):

- os *displays* Head-mounted (HMDs) e dispositivos gestuais podem interferir com a interação;
- os dispositivos de entrada podem restringir a fidelidade e a versatilidade;
- a RV tem capacidade limitada de *display*, e
- entradas multisensoriais podem interatuar para causar sensações e percepções não planejadas.

Como a tecnologia da RV evolui, essas ameaças para a sua usabilidade podem ser melhoradas. Na atualidade, contudo, o potencial da RV deve ser complementado para melhorar o aprendizado, superando as barreiras das interfaces através de uma cuidadosa atenção quanto às questões de usabilidade. *Com cada ciclo de avaliação, se estão adicionando elementos ao conjunto de conhecimentos que ajudam no processo de tomada de decisões para o design e na melhor compreensão da natureza dos mundos virtuais imersivos (ibid.).*

Observam-se diferenças individuais significativas nas habilidades dos estudantes para trabalhar em ambientes de 3-D e com controles em 3-D, como também na susceptibilidade aos sintomas de “doenças” do simulador (tensão dos olhos, dores de cabeça, vertigem e náusea):

Enquanto alguns estudantes aprendem a usar menus, manipular objetos, e navegar rapidamente, outros requerem ser acompanhados durante a sessão. Muitos estudantes experientes não sentem mais do que uma leve tensão de olhos; contudo, alguns estudantes inexperientes sentem tontura moderada e ligeiras náuseas durante a primeira sessão, e, conseqüentemente, não conseguem retornar à segunda sessão. Os estudantes que se queixaram de qualquer sintoma durante os primeiros 30-45 minutos da sessão, reforçam a nossa estratégia de usar experiências múltiplas e curtas (Dede, Salzman, Loftin, 1995, p. 5).

Os pesquisadores da *University of Edinburgh*, na Inglaterra, têm efetuado testes intensivos a respeito dos possíveis efeitos do uso de HMDs na visão. Os resultados concluem *que os HMDs podem danificar a visão de pessoas abaixo de 12 anos de idade*. O HMDs de hoje em dia estão baseados nos padrões de qualidade de TV (PAL/NTSC), em um limitado número de pixels, sendo impossível focalizar 100%. *Isto pode levar ao esforço e à tensão dos olhos na tentativa de focalizar alguma coisa que é impossível de ser focalizada* (Odegard, 1995b, p. 2).

Em sistemas pequenos, tais como aqueles baseados em PC, os usuários podem ter experiências defasadas do sistema, as quais podem causar náusea. O HMD é também construído para uma pessoa padrão que não tenha uma cabeça muito grande e não use óculos.

O ângulo de visão é limitado a 40 graus comparados com a visão normal que é maior que 100 graus. *Devido ao suor do usuário ou diferença de temperatura entre o rosto do usuário e o HMD, o pequeno "display" pode ser nebuloso e obscuro* (Odegard, 1995a, p. 1).

As características da imersão foram estudadas a partir dos resultados experimentais da pesquisa no *U.S. Army Research Institute*, através de questionários feitos para evidenciar susceptibilidades individuais para a imersão e a profundidade da experiência imersiva. A extensão do campo visual mostrado num HMD (campos de visão menores que 60° *field of view* (FOV) são referidos como produtores de sentido pobre de imersão), a precisão da localização egocêntrica, a informação vestibular precisa (sincronizada com mudanças visuais como rotações e movimentos de cabeça de afirmação, ou aceleradores) são fatores determinantes da profundidade da imersão. Um paradigma de "*cognitive tracking*" foi usado para descobrir interações visual-vestibular. *A sincronização precisa do movimento espacial da cabeça e das mudanças na perspectiva visual resultam numa imersão mais profunda, mesmo com um acoplamento impreciso entre o movimento da cabeça e mudanças na apresentação visual* (Psozka, 1996, p. 1).

Na pesquisa reportada por Psozka, as questões foram cuidadosamente projetadas para cobrir fatores cognitivos que foram fundamentados na literatura sobre os meio-ambientes da RV, usando uma escala de respostas categóricas de cinco pontos. Foram considerados como dominantes na predição da profundidade da imersão, dois fatores psicológicos: *a imaginação necessária para aceitar uma outra realidade* (um imaginário vívido que torna a participação integral e satisfatória) e *a concentração, atenção e autocontrole para excluir os efeitos de distração do mundo real*.

Os fatores cognitivos foram agrupados em duas categorias: *A susceptibilidade para a imersão e a qualidade da imersão* (Psozka, 1996, p. 2):

- A susceptibilidade para a imersão depende da Imaginação (resistência da imaginação visual, sonhos, consciência de si, absorção em sonhos quando acordado, habilidade para suspender a descrença voluntariamente de boa vontade, profundidade de envolvimento em livros, teatro, etc.). Imaginário vívido (sonhando, expectativas prévias sobre meio-ambientes de RV, claustrofobia), concentração e atenção (filtragem atencional, conflito cognitivo ao sustentar duas imersões recursivas, navegação espacial, claustrofobia) e autocontrole (autocontrole, participação ativa e catarse).

- A qualidade da imersão depende dos recursos do meio-ambiente da RV para imersão (persistência do objeto, perfeição sensorial, interatividade, realismo do meio-ambiente, montante de atraso, tamanho do campo de visão, localização precisa do egocentro ou imagem corporal, prazer e satisfação com a novidade da experiência), distrações devido ao meio-ambiente real (presença de distrações sonoras ou táteis, fadiga e irritação pelo volumoso equipamento, restritividade do equipamento, similaridade entre o mundo real e o mundo da RV), efeitos psicológicos (distúrbios pelo simulador, desorientação após a imersão), e efeitos outros (preferência de imersão individual, surpresa quando o HMD é removido).

Os movimentos no meio-ambiente virtual frequentemente apresentam muitos erros (extrema lentidão e muitos insucessos). As principais causas de erros de movimento são: cenário impreciso para a distância interocular, falta de sinais de convergência e acomodação, falta de bons gradientes de textura para profundidade e modelos desenhados imprópriamente (eles são facilmente percebidos e permanecem fator de distúrbios em muitas aplicações em RV).

Postka (1996, p. 3) relata que *com uma visão da exibição maior que 60 °field of view (FOV) muitos indivíduos referem algum grau de desconforto, embora ninguém se torne nauseado (efeito que pode estar relacionado com a compressão não linear de 140 ° em 18 ° ou 45 °FOV). Para Wertheim e Wolpert (apud ibid.), o relacionamento entre o comportamento com os estudos das emoções próprias orientadas são fortemente dependentes do FOV, campos de visão muito mais potentes induzindo aos efeitos de orientação ótico-cinéticas.*

O pré-requisito mais influente para imersão é o *acoplamento firme entre o movimento da cabeça e a exibição visual. Retardos ou demoras na entrada de dados na exibição visual em imersão HMD, resulta numa profunda interrupção na orientação espacial e experiência pobre de imersão (Psootka, 1996).*

“A imersão pode ser vista como um fenômeno dual: por um lado, depende de processos biológicos subconscientes, implícitos ou habilidades que invocam a maquinaria cognitiva somente quando os meios de agrupamento ecológico são adequados; e de outro lado, depende de habilidades de atenção voluntárias que dependem de auto controle, auto consciência, intratabilidade, atenção, expectativa e força de vontade. Esses dois fatores (implícito *versus* controle consciente de imersão) são capturados numa correlação: a imersão é mais completa em alguém que sonha colorido” (Psootka, 1996a).

O modo como estes dois componentes interagem é um mistério. Os componentes implícito e consciente parecem fazer coisas diferentes e podem não ser capazes de afetar um ao outro

diretamente. Estes fatores aparecem tão brusca e inesperadamente, que se tornam visíveis em todos os três conjuntos de correlações: nos fatores de susceptibilidade, nos fatores de imersão, e em suas intercorrelações. Fatores implícitos com algum tipo de dominância, como o atraso entre a intenção e o *feedback* visual da percepção de um movimento e mão, acontecem na RV e nenhuma quantidade de filtragem da imagem é suficiente para reduzir o atraso; e isto pode levar a vários graus de distúrbios causados pelo simulador ou, também como quando o sistema visual indica que o egocentro ou imagem corporal está em uma localização, mas os sentidos cinestésicos localizam-no em algum lugar próximo, pode não haver nenhum caminho para perceber ou integrar estas duas posições isoladas. *Processos de longo tempo de aprendizagem e adaptação, que mudem a maquinaria cognitiva, podem ser requeridos* (Psozka, 1996a).

Em lugar de fornecer acesso para um grande ciberespaço, o equipamento atual ainda está evocando sensações de claustrofobia, de enclausuramento, restrição, náuseas e confusão após a experiência (Psozka, 1996a)

Substancializar os componentes cognitivos e perceptuais da imersão promete ser uma tarefa longa, mas compensatória. *Ela é particularmente satisfatória para treinamentos e propostas educacionais porque já se sabe que muitas das representações cognitivas estão na forma de modelos mentais para a compreensão de sistemas complexos* (Casas, Bridi, Fialho, 1996, p. 42). *A RV promete transformar o conhecimento em experiência e tornar a educação e o treinamento muito mais direto e efetivo* (Psozka, 1996b).

4.7 Conclusões

A Realidade Virtual promete ser a “*interface homem-computador definitiva*”. Ela pode incorporar uma interface natural e intuitiva nos ambientes de trabalho, gerados entre o homem e a máquina (Smith, Smith, Yang, 1995, p. 29).

A maior parte dos sistemas de RV são estáticos. O ator se movimenta mais e o *background* permanece fixo. O modelo denominado *Fuzzy Feedback*, proposto por Kosko e Dickerson (1994, p. 25), permite que o *background* mude segundo o movimento do ator, através das interações com o mundo virtual. As técnicas difusas e a não linearidade são parâmetros de design da RV. Elas podem dar melhores modelos de um processo real, que resultariam mais divertidos e apropriados para a interação (Kosko, Dickerson, 1994, p. 31).

Para Stone (1993), uma interface intuitiva entre o homem e a máquina requer pouco treinamento e oferece um estilo de trabalho, que a maior parte das unidades autopoieticas humanas preferem na interação com os ambientes e os objetos em sua vida cotidiana. Em outras palavras, as máquinas autopoieticas humanas interatuam com os elementos das suas tarefas olhando, segurando,

manipulando, falando, escutando e movendo-se, usando muitas das suas habilidades naturais apropriadas, ou com as que se pode contar razoavelmente para sua aplicação na realização de uma tarefa.

Nesta parte do trabalho, realizou-se a revisão sobre a tecnologia atualmente utilizada, assim como as áreas de pesquisa em andamento. Os dispositivos de exibição, técnicas de exibição gráfica, áudio 3D, navegação e dispositivos de interação precisam de maiores desenvolvimentos. As grandes áreas concernentes à saúde e segurança do usuário estão ainda sendo pesquisadas, sem mencionar os problemas técnicos não resolvidos nos ambientes imersivos. Como o mercado público da RV crescerá nos próximos anos, presume-se que maiores investimentos serão dispensados na pesquisa, para o melhoramento da qualidade das interfaces e a solução dos problemas mencionados.

Para promover a introdução, expansão e desenvolvimento tecnológico da RV no âmbito Brasileiro, deverão ser impulsionados, paralelamente, as disciplinas da computação, como o desenho, a robótica, a visualização científica e a interação homem-computador, já que estas disciplinas lhe servem de fundamento. Outra alternativa é a implementação de sistemas de RV que utilizem ferramentas de *software* e dispositivos que se encontrem no mercado. Dado o grande potencial que oferece a RV e a diminuição dos preços dos acessórios, é cada dia mais factível a aplicação desta tecnologia no Brasil.

5 AMBIENTES INTELIGENTES DE APRENDIZAGEM

Os chamados ambientes inteligentes de aprendizagem (*Intelligent Learning Environments* - ILE's) (Costa, *apud* Oliveira, 1994) podem ser entendidos como o resultado da aproximação entre os sistemas tutores inteligentes e os insights da Inteligência Artificial Distribuída (Sichman, Demazeau, Boissier, *apud* *ibid.*): a interação tutor-aluno passa a ser vista como um caso particular de interação entre agentes inteligentes (Costa, *apud* *ibid.*). Entretanto, para que esta visão tenha reflexos concretos, é necessário aumentar as capacidades de adaptação e autocrítica do sistema tutor, incluindo 2 requisitos:

- a capacidade de aprender, e
- a capacidade de avaliar seus processos de aprendizagem.

O segundo requisito exige que o sistema possua, além de técnicas de aprendizagem automática, um conjunto de crenças e processos de inferência sobre essas técnicas, possibilitando avaliá-las e comparti-las. A fim de caracterizar este fato, Oliveira (1994) adota o termo *teoria de aprendizagem* em vez de *módulo*. Uma das principais utilidades de uma teoria de aprendizagem, dentro de um sistema tutor inteligente, está na “*resolução de conflitos cognitivos*”. Situações de conflito surgem quando há discrepância entre as crenças do sistema tutor e as crenças do aluno sobre um ou mais aspectos do domínio, para as quais podem-se imaginar quatro possíveis situações: o aluno está errado; o sistema está errado; ambos estão errados; ninguém está errado, sendo a divergência devida apenas a visões diferentes, mas não opostas. Os esforços de pesquisa concentrados até agora, no primeiro caso, resultam em diversas técnicas de representação, diagnose e tratamento de concepções incorretas. Este é o único caso de conflito que pode ser resolvido, em algum grau, sem a aplicação de aprendizagem automática. O tratamento dos outros casos implica um aumento nas capacidades adaptativas do sistema tutor. Desse modo, uma teoria de aprendizagem (implícita ou explicitamente manifesta na arquitetura do sistema) surge como forma natural de atacar esses problemas. A seguir, apresentar-se-á a arquitetura clássica dos STI, outros trabalhos nessa linha, e propostas baseadas no paradigma da IA construtivista.

5.1 Sistemas Tutoriais Inteligentes - STI

As pesquisas na construção de Ambientes Inteligentes para a Aprendizagem Assistida por Computador, também conhecidos como STI, tiveram início aproximadamente nos anos 70. Alguns autores como Carbonell e Sleeman começaram a observar que os programas de CAI possuíam estrutura de transmissão de conhecimento de caráter seqüencial, previamente determinadas e, por conseqüência, com incapacidade de adaptação real às necessidades e estilo individual dos alunos. Estes autores *propuseram um sistema que incorporava técnicas de IA a fim de tentar criar um ambiente que levasse em consideração os diversos estilos cognitivos de cada aluno que utilizasse o programa. A este tipo de software denominaram de Tutores Inteligentes ou Sistemas Tutores Inteligentes* (Giraffa, 1997, p. 23).

Os CAI e os STI situam-se, aparentemente, em um tipo similar de aplicação em educação. Para salientar as diferenças e pontos em comum, apresentar-se-á o quadro 09.

Quadro 09: CAI x ICAI ou STI:

Aspecto	CAI	STI
Origem	Educação.	Ciência da Computação.
Bases Teóricas	Skinner(behaviorista).	Psicologia Cognitivista.
Estruturação e Funções	Uma única estrutura algorítmicamente pré-definida, onde o aluno não influi na seqüenciação.	Estrutura subdividida em módulos, cuja seqüenciação se dá em função das resposta do aluno.
Estruturação do Conhecimento	Algorítmica.	Heurística.
Modelagem do Aluno	Avaliam a última resposta ¹ .	Tentam avaliar todas as respostas do aluno durante a interação.
Modalidades	Tutorial, exercício e prática, simulação e jogos educativos.	Socrático ² , ambiente interativo ³ diálogo bidirecional ⁴ e guia ⁵ .

Fonte : Giraffa (1997, p. 19).

No segundo estágio dos STI, na segunda metade da década de 80, as pesquisas se concentraram em verificar as questões envolvendo o aspecto pedagógico, ou seja, o seu valor instrucional. Nesta etapa, a equipe de trabalho começou a contar com a colaboração de especialistas em Educação, especificamente em instrução via-computador, os PC já estavam começando a se disseminar e

¹As ações do programa estão baseadas na última resposta do aluno, considerando-se apenas V (verdadeira) ou F (falsa). Não são tratadas as dúvidas e incertezas.

²Pretendem proporcionar instrução através de diálogo com os alunos e detectar erros.

³Trabalham um determinado assunto através da interação com o aluno, utilizando a abordagem de diagnóstico desse aluno.

⁴Utilizam um ambiente interativo com diálogo entre o aluno e o tutor, podendo haver alterações no comportamento do tutor face às respostas do usuário (aluno).

⁵Alguns STI funcionam como guias do aluno, não utilizam diálogo, mas apresentam o conteúdo de outra forma.

as linguagens sofreram evolução para se adaptarem aos novos ambientes de hardware. Com a explosão dos microcomputadores PC, começa uma nova concepção a nível de pesquisa de ferramentas (software) e utilização de linguagens para a implementação dos STI. Neste período, os STI apresentaram um grande avanço no que diz respeito á eficácia instrucional.

O terceiro estágio compreende a década dos anos 90, onde os pesquisadores estão explorando ambientes e variáveis instrucionais específicas, utilizando equipes interdisciplinares para realizar atividades multidisciplinares. Isto se faz necessário devido ao avanço das ciências afins tais como: IA, Psicologia Cognitiva, Neurofisiologia, Neuropsicopedagogia e a própria Ciência da Computação que disponibilizou as tecnologias de hipermídia e poderosas linguagens nos paradigmas de Programação Orientada a Objetos – POO e agentes.

Segundo Costa (*apud ibid.*, p. 23) a contribuição deste estágio deve ser o desenvolvimento de novas teorias e estratégias instrucionais, posição que se vê reforçada pelos trabalhos implementados até hoje a nível de STI, onde as estratégias de ensino (módulo tutor do STI) são fixas e em número reduzido, na maioria restringindo-se somente a uma.

Burns (*apud ibid.*) salienta que a pesquisa em STI, especialmente envolvendo as teorias de ensino-aprendizagem, devem contemplar as estratégias de ensino (levando em conta as diferenças individuais). Estas pesquisas incluem trabalhos bastante conhecidos como o Guidon de Clancey, *et. al.* (*apud* Giraffa, 1997, p. 30) e suas revisões, o PROUST de Soloway e Johnson (*apud ibid.*), os tutores ACT de Anderson, Boyle e Yost (*apud* Guine, 1991), ETOILE de Dillenbourg *et. al.* (1993) e muitos outros, que mostraram as características dos STI e suas habilidades para diagnosticar concepções erradas do aprendiz durante o processo de ensino e baseados nesses diagnósticos, fornecer ensino subsidiário aos estudantes. Contudo, muitas questões psicológicas subjacentes à aprendizagem, ao ensino e à compreensão não têm sido respondidas convincentemente. Adicionalmente, existem dificuldades enormes na representação exata dos estágios da aprendizagem do estudante e na identificação das possíveis concepções erradas, fatos que contribuem para uma diversificação das pesquisas nos STI. Muito se argumenta sobre a importância da avaliação de semelhantes sistemas.

Apesar das dificuldades das pesquisas existentes em STI, acredita-se que o ensino por computador é uma alternativa atrativa para tutores humanos, no fornecimento de assistência para os instrutores que são responsáveis pelo aprendizado dos estudantes e para os estudantes que pretendem aprender de forma autônoma, especialmente quando os tutores humanos não estão disponíveis ou não estão dispostos a investir mais tempo (Wu, 1995b, p. 2).

Um STI pode ser descrito como um *software* que envolve (Djamen, Frasson, Kaltenbach, 1996, p. 1):

- um computador que codifica domínios pedagógicos e conhecimento de professores humanos (*trainer*) como um bom mecanismo para comunicá-los a outros humanos;
- um aprendiz humano (*trainee*) que inter-atua com o computador para adquirir algumas habilidades nesses domínios.

Para Dede (1995, p. vi), os Sistemas Tutoriais e Treinadores Inteligentes (STI), também denominados *Intelligent Computer-Aided Instruction* (ICAI), *fornece para a tecnologia educacional as características das habilidades cognitivas do professor*. As estratégias situadas sob esses tipos de aplicações educacionais estão baseadas nas idéias do campo da Inteligência Artificial. Aplicações STI/ICAI contém, idealmente, modelos dinâmicos do aprendiz, nos quais o conhecimento pode ser falado e discutido pedagogicamente. O sistema *compreende* quem, o quê e como ensinar. Em um STI *full-fledged*, o material apresentado para o aprendiz é interativamente formado por esses modelos dinâmicos, gerados pelo sistema em tempo real (em contraste aos *Computer Based Training* - CBT ou *Computer Assisted Instruction* - CAI, que se ramificam através de um repertório pré-programado de janelas). Segundo Wu (1995a):

Quando o ensino é realizado por professores humanos ou STIs, os fatores psicológicos dos estudantes desempenham papéis predominantes no desempenho do processo de ensino. Porque a motivação ou o estado emocional do estudante são usualmente imprevisíveis, enquanto as capacidades intelectuais são mais mensuráveis e previsíveis, nós adiamos nossa preocupação com os primeiros dois fatores (motivação e estado emocional). Em vez disso, nós nos concentramos na predição das diferenças individuais das capacidades intelectuais (cognitivas), possibilitando sobre estas bases a adaptabilidade dos STIs aos vários estudantes.

Como foi descrito em Wenger (1987), a maior perspectiva de domínio de conhecimento requerido em um STI inclui a *causality* (modelo mental e raciocínio qualitativo), a estrutura (relações estruturais entre tarefas), a funcionalidade (modelo de rol de agentes e fatores na transição entre estados) *teleology* (metas), *constraint* (dificuldades para completar a meta e limitações dos meios disponíveis) e a semântica (clarificação de definições de conceitos).

Para algumas extensões, todas essas perspectivas podem estar fundadas em diferentes desenvolvimentos ainda distantes de STIs. Payne (1988), por exemplo, argumenta que, considerando o equipamento e a necessidade de separar a parte do funcionamento do sistema das intenções de um determinado usuário, a fixação dos dispositivos para realização dessas tarefas requereria, no mínimo, a manutenção simultânea dos dois espaços seguintes:

- o *espaço meta* (*goal space*), *representando os estados possíveis do mundo*,

- o espaço do dispositivo (*device space*), representando as configurações possíveis do dispositivo.

Contudo, a problemática e as possibilidades dessas perspectivas não foram ainda esclarecidas. Como resultado, a construção de programas STI demanda ainda o investimento de muito tempo e esforço, porquanto uma análise exata do raciocínio do estudante é ainda problemático na instrução automatizada.

Por outro lado, a IA construtivista, sendo antes de tudo IA, pode aproximar a informática da educação as técnicas, linguagens e sistemas de IA, mas de um modo crítico, permeado pela perspectiva da epistemologia e da psicologia genéticas, vistos como verdadeiros instrumentos de experimentação dos alunos e não produtos a serem consumidos passivamente por eles (Costa, 1994, s/p).

A seguir, serão analisadas algumas arquiteturas de STIs, que podem ter utilidade para a formulação do modelo.

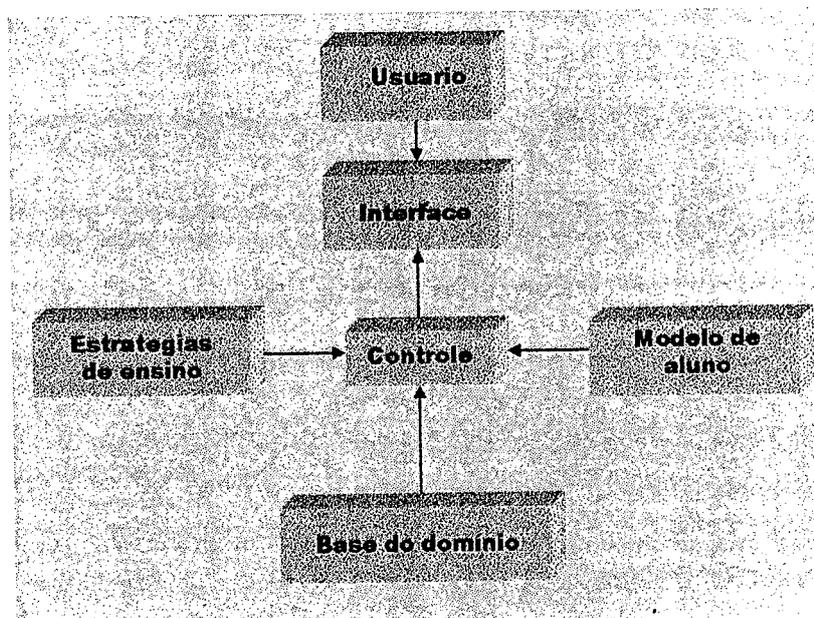
5.2 Arquitetura clássica de STI

As arquiteturas de Sistemas Tutores Inteligentes variam de uma implementação para outra. Numerosos STIs foram implementados entre meados da década de 70 e na década do 80 por Clancey(1979), Johnson(1985), Anderson (1985), Viccari (1990) entre outros. As arquiteturas desenvolvidas durante esta fase sustentavam que um sistema STI/ICAI devia incluir os seguintes elementos funcionais:

- um modelo explícito de domínio e um programa especialista capaz de resolver problemas nesse domínio;
- um modelo de identificação com algum detalhe sobre o conhecimento do estudante a respeito do domínio;
- um modelo de ensino capaz de prover instrução, apresentando material instrucional, capaz de detectar e auxiliar na resolução das concepções erradas dos estudantes (Clancey *apud* Oliveira, Viccari, 1996, p. 1).

A estrutura de um sistema com as características anteriores exige o desenvolvimento de programa tutorial composto pelos módulos mostrados na figura 40.

Figura 40: Arquitetura clássica de um STI.



Fonte: Giraffa(1997, p. 41).

5.2.1 Base de conhecimento do domínio

O modelo de domínio é o componente especialista do tutor, *o especialista que trata e manipula o conhecimento da matéria* (Corredor,1989, p. 44), constituído pelo material instrucional, por uma sistemática geração de exemplos, pela formulação de diagnósticos e pelos processos de simulação. Contém o conhecimento sobre o domínio que se deseja ensinar ao estudante.

Um ponto a ser estudado em Matética Computacional⁶, e que refletiria em um nível concreto a vinculação conceitual entre aprendizagem e ensino por computador, é a inclusão, na arquitetura básica de um tutor inteligente, de um módulo de aprendizagem (Viccari, apud Oliveira, 1994, p. 8). Este módulo teria a função de permitir a alteração/ampliação/adaptação das duas principais bases de conhecimento componentes do tutor: a base do domínio e o modelo do aluno. A inclusão de capacidades de aprendizagem no sistema tutor implica um estilo de arquitetura baseado não em bases de conhecimento, mas sim em bases de *crenças*.

⁶ Self (1991) propõe a criação de uma disciplina chamada "Matética Computacional" (do grego "*manthanein*" = aprender), cujo papel seria, entre outros, o de estudar estes princípios teóricos. Uma definição provisória do termo "*Matética Computacional*" (MC) seria: "o estudo da aprendizagem, e de como ela pode ser promovida, utilizando as técnicas, conceitos e metodologias da Ciência da Computação e Inteligência Artificial" (Self apud Oliveira, 1994, p. 8).

Vários modelos de representação de conhecimento podem ser usados aqui: redes semânticas⁷, frames, scripts, regras de produção, Programação Orientada a Objetos-POO, entre outras. A escolha deve recair sobre aquele método que melhor e mais facilmente atenda aos requisitos de representação e manipulação do raciocínio. Segundo Hassegawa e Nunes (*apud* Giraffa, 1997, p. 41), *uma escolha inadequada pode comprometer todo o desempenho do sistema, uma vez que este módulo deve ser capaz de determinar, entre outras coisas, a complexidade e conseqüentemente a forma de apresentação dos conceitos da área de conhecimento em questão.* Um resumo das características de tipos de representações e conhecimento é apresentado no quadro 10.

Quadro 10: Resumo das características de tipos de representações de conhecimento.

Representações	Características	Limitações	Alguns Campos de Aplicação
• Lógica dos predicados	• Facilidade de manipular novos fatos a partir de fatos conhecidos	• Independência do processamento em relação ao conhecimento utilizado	• Sistemas de dedução natural • Linguagens de programação declarativas
• Regras de produção	• Parecida com o modo das pessoas falarem sobre como resolvem seus problemas	• Sistemas Especialistas baseados em regras não podem exigir um nível de conhecimento especialista • Deficiência individual de autocontrole necessário.	• Sistemas especialistas • Engenharia de Conhecimento
• Redes Semânticas	• São orientadas semanticamente. Simulam o modelo psicológico de memória associativa humana.	• As mesmas da lógica dos predicados	• Processamento de linguagem natural
• Quadros e Roteiros (<i>Frames e Scripts</i>)	• Estrutura de dados para representar um conceito o uma situação dada. • Apropriada na interpretação de uma seqüência específica de acontecimentos • Permite indicar como os acontecimentos se relacionam entre si	• Formalização e metodologia ainda em fase de consolidação	• Interpretação visual • Compreensão de fala • Situações estereotipadas
• Alógrafos	• Possui relações morfosintáticas simples que abarcam a maioria dos casos que se apresentam na realidade • Permite normalizar outros tipos de representações	• Formalização e metodologia ainda em fase de consolidação	• Formalismo através do qual podem ser deduzidas outras formas de representação
• Objetos	• Bastante aproximada da forma de raciocínio humano	• Formalização e metodologia ainda em fase de consolidação	• Aplicações em docência • Aplicações em sistemas computacionais.

Fonte: Casas ((1994, p. 124), adaptado de WAH, B.W; GUO-JIE, LT, LI, 1989).

O material instrucional é organizado, geralmente, numa taxonomia que prevê níveis crescentes de complexidade. As tarefas são organizadas utilizando uma estrutura de árvore e formadas dinamicamente, de acordo com a interação e o trabalho do aluno (Giraffa, 1997, p. 41).

A estratégia de ensino a ser utilizada vai depender do modelo do aluno definido.

⁷ Nas *Redes Semânticas* (Passos, 1989, p. 42), o conhecimento é representado em termos de nós, os quais podem representar objetos, que são conectados por ligações que representam as ligações entre os nós. Esta forma de representação de conhecimento é o recurso mais usado em sistemas de Inteligência Artificial, incluindo os STI (Wu, 1995b, p. 3).

A base de conhecimentos do domínio é um componente chave do STI; ali está representado o material instrucional - ou seja, o conteúdo que o tutor deverá ministrar. O fato desse conteúdo ser armazenado em uma base de conhecimento - e não em uma base de dados convencional - é um dos fatores que determinam a diferença entre um STI e um CAI convencional (Oliveira, 1994). A base de conhecimentos deve facultar ao sistema a possibilidade de raciocinar sobre a estrutura do conteúdo a ser ministrado, permitindo-lhe então ser mais do que um simples virador de página eletrônico.

Uma consequência evidente desta importância funcional é que a representação de conhecimento utilizada determina fortemente o comportamento do sistema tutor. Como em todos os sistemas baseados em conhecimento, a forma de representação dependerá, via de regra, do domínio de aplicação considerado. Por outro lado, o tipo de manipulação a ser efetuada pelo sistema tutor também influencia a forma de representação do conhecimento. Baseado nessa afirmação, Woolf (*apud* Giraffa, *op. cit.*, p. 42) estabelece uma distinção entre sistemas tutores *fortes* e *fracos*. Um sistema tutor fraco deve ser capaz de ministrar o conteúdo, propor questões a serem resolvidas pelo aluno e reconhecer/corrigir erros. Um sistema tutor forte deve, além disto, ser capaz de resolver as mesmas questões que propõe ao aluno - ou seja, deve ser capaz de, além de ministrar o conteúdo, utilizá-lo na resolução de problemas. A decisão de construir um sistema tutor forte ou fraco influencia a representação do conhecimento do domínio.

Tipicamente, nos casos em que o domínio é de natureza descritiva e teórica (por exemplo, geografia ou física), a representação utilizada é declarativa (em geral redes semânticas ou linguagens de *frames*). Já nos casos em que o domínio é orientado a uma tarefa (por exemplo, programação Pascal), a representação tende a ser procedural - tipicamente regras de produção. Woolf (*apud* Giraffa *op. cit.*) denomina essas duas categorias de conhecimento *declarativo* ou *conceitual* e conhecimento *procedural*⁸ e acrescenta uma terceira categoria chamada conhecimento *heurístico*. O conhecimento heurístico descreve maneiras de utilizar o conhecimento (procedural ou declarativo) na resolução de problemas. Pode-se dizer que a sua presença distingue o sistema tutor forte do fraco.

O embasamento cognitivo da representação utilizada na base de conhecimento do domínio e no modelo do aluno reflete o caráter multidisciplinar dos sistemas tutores inteligentes enquanto área de pesquisa. Autores como Ohlsson, Clancey e Self (*apud* *ibid.*), apontam a necessidade de buscar premissas psicológicas, epistemológicas e pedagógicas para a construção de sistemas tutores inteligentes. A teoria cognitiva utilizada por Anderson pode parecer simplista ao advogar modelos

⁸ Conhecimento a respeito de como realizar tarefas e resolver problemas (Good, Brophy, 1997, p. 110).

mentais totalmente embasados em regras de produção, no entanto, é um dos poucos trabalhos a explicitar seu embasamento psicológico.

5.2.2 Modelo do aluno

É o especialista em técnicas de ensino que seleciona os conceitos, fixa os níveis de dificuldade do ensino e controla o processo de aprendizagem (Corredor, 1989, p. 44). O modelo do aluno contém as informações relevantes, do ponto de vista do tutor, a respeito do aluno. É a presença deste modelo que permite ao sistema tutor adaptar-se a cada estudante, individualizando a instrução. Este módulo representa o conhecimento e as habilidades cognitivas do aluno em um dado momento (Oliveira, 1994). É constituído por dados estáticos e dados dinâmicos que serão de fundamental importância para o tutor poder comprovar hipóteses a respeito do aluno (Giraffa, op. cit., p. 42). Contém uma representação do estado do conhecimento do aluno no momento que interage com o STI. A partir desse modelo e do conteúdo a ser ensinado, o sistema deve ser capaz de inferir a melhor estratégia de ensino a ser utilizada em seguida. Um modelo realista do aluno implica numa atualização dinâmica, à medida que o sistema avalia o desempenho do estudante.

Os dados dinâmicos referem-se ao desempenho do aluno face a questões formuladas pelo tutor e confrontadas com as hipóteses elaboradas pelo aluno, face ao uso que o aluno faz do sistema e face aos novos conhecimentos que o aluno pode vir a ensinar ao tutor.

Muitas técnicas são utilizadas para construir o modelo do aluno, como por exemplo (Giraffa, op. cit., p. 43):

- incluir um reconhecimento de padrões aplicados à história das respostas fornecidas por ele;
- comparar a conduta do aluno com a de um especialista e verificar os pontos em comum;
- colocar as preferências do aluno;
- seus objetivos particulares;
- coisas que ele costuma esquecer quando interage com o tutor;
- indicação dos seus objetivos particulares.

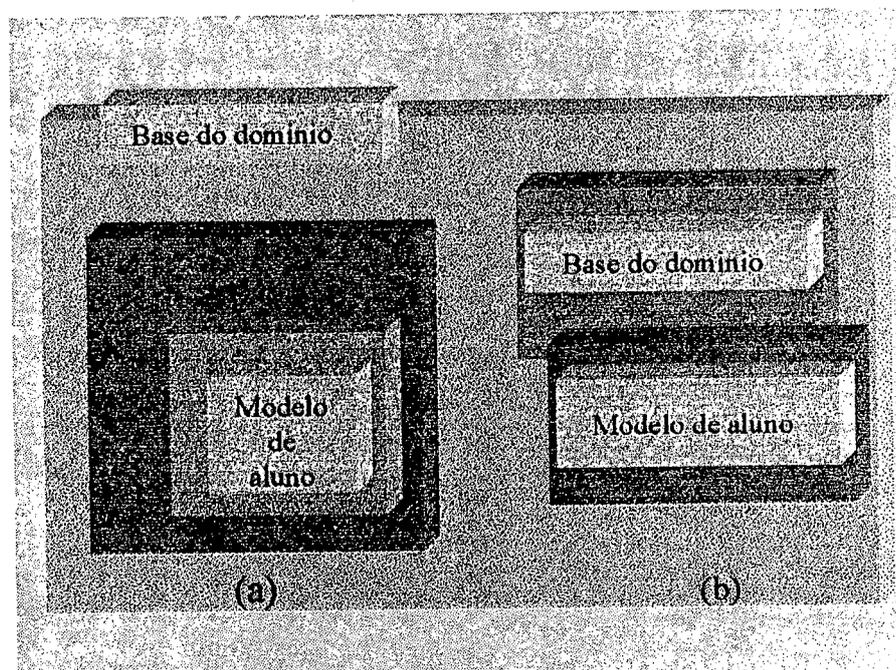
O modelo do aluno, segundo Costa e Werneck (1996), pode ser representado apoiando-se em alguns modelos de descrição, a saber:

- modelo diferencial: onde a resposta do aluno é comparada com a base de conhecimento.

- modelo de *Overlay* ou superposição: o conhecimento do aluno é representado como um subconjunto da base de conhecimento do sistema tutor como se mostra na figura 41. Este modelo assume (implícita ou explicitamente) que os erros ou comportamentos anômalos do aluno são sempre devidos à ausência de alguma informação presente na base do domínio. Este pressuposto psicológico é excessivamente simplista: muitos comportamentos incorretos originam-se da *presença de concepções incorretas* na mente do aluno.

- modelo de Perturbação ou modelo *BUGGY*: também relaciona o modelo do aluno com a base de conhecimento do domínio. O modelo de perturbação assume que os erros do aluno são decorrentes da concepção errônea de algum conceito ou ausência dele. Neste, existe a base do domínio e uma biblioteca de erros típicos; o modelo do aluno inclui elementos da base do domínio e da biblioteca de erros como mostrado na figura 41-b.

Figura 41: Modelo de *overlay*.



Fonte: Giraffa (1997, p. 43)

- modelo de Simulação: o ambiente possui um modelo de como o estudante pode ou deve se comportar em determinada situação e através deste modelo e permite prever o comportamento futuro do estudante, ou seja, a resposta do aluno baseado no seu comportamento durante a sessão de trabalho.

- modelo de Crenças: consiste em um conjunto de crenças refletindo o grau de compreensão do estudante sobre um conceito em particular. Segundo Giraffa (*op. cit.* p. 44), seria mais correto falar em *bases de crenças* no lugar de *bases de conhecimento*, já que o comportamento lógico das concepções do aluno assemelha-se muito mais a uma lógica de crenças do que a uma lógica de conhecimento.

- modelo de Agentes: ao tratar o modelo do aluno como um sistema de crenças, Vicari (*apud* Giraffa *op. cit.*) utilizou implicitamente uma noção importante: a interação entre aluno e sistema tutor é uma interação entre dois agentes inteligentes (ou, pelo menos, dotados de algum comportamento cognitivo). Considerar o aluno como um agente implica considerar o modelo do aluno como um modelo de agente, o que terá conseqüências para a estrutura do modelo.

5.2.3 Estratégias de ensino

Uma estratégia é um plano, ou seja, uma estrutura de ação visando atingir determinados objetivos. As estratégias de ensino podem ser vistas como *esquemas de planos* que definem formas de apresentar o material instrucional ao aluno. Autores como Ohlsson e Breuker (*apud* Giraffa, 1997, p. 46) conceitualizam dois níveis de planejamento da ação para um tutor: o nível das *táticas de ensino* e o nível das *estratégias* propriamente dito. A noção de tática de ensino é explicada por Ohlsson:

"A diagnose cognitiva e a análise da matéria geram as 'entradas' para um sistema tutor, cujas informações formam a base para as decisões tutoriais. As táticas de ensino (...), por outro lado, representam sua 'saída', ou seja, seu comportamento frente ao estudante." (Ohlsson *apud* *ibid.*).

As estratégias constituem conhecimento sobre como ensinar, ou seja, sobre como gerar, a partir das informações de diagnóstico, monitoração e análise, uma seqüência de táticas de ensino capazes de apresentar com sucesso um determinado tópico a um determinado estudante. Segundo Breuker (*apud* *ibid.*), a maioria dos autores concorda em que uma estratégia de ensino deve questionar:

- quando interromper? Que razões justificam interromper o curso de raciocínio ou aprendizagem do aluno?
- o que dizer? Esta questão desdobra-se em:
 - a) seleção do(s) tópico(s) a serem apresentado(s);
 - b) ordenação dos tópicos, se houver mais de um.
- como dizer? Esta é, provavelmente, a questão mais difícil. Não há soluções gerais concretas, e muitos autores apontam aqui a falta de teorias pedagógicas suficientemente detalhadas.

A seguir serão exploradas duas estratégias cooperativas, comparadas com a primeira aproximação usada nos STIs, onde o tutor supervisiona diretamente o aprendiz.

- Um-a-um (*One-on-one*) : esta abordagem proposta por Sleeman e Brown; Clancey, Bennet e Cohen (*apud* Aimeur, Frasson, 1996) precedeu os sistemas cooperativos e constitui a simulação de um tutor inteligente, apoiado pelo computador que pode compreender o aprendiz e fornecer-lhe instrução adaptativa. O aprendiz recebe conhecimento diretamente do tutor, que o comunica e atua de acordo com o comportamento prescritivo. Muitos dos sistemas tradicionais de STIs adotam esta abordagem com características adaptativas mais ou menos marcadas, de acordo com a complexidade do modelo (de aprendiz) usado para prover *feedback*. O conhecimento dos professores é sempre maior que o dos aprendizes.

Como alternativas para a estratégia *um-a-um*, as estratégias cooperativas incorporam um elemento adicional, denominado interação par (*peer*). *Sistemas de aprendizagem cooperativa, chamados também sistemas de aprendizagem social, adotam uma abordagem construtivista, baseada no uso dos computadores, que atua no processo de transferência de conhecimento como um parceiro, não como um professor* (Aimeur, Frasson, 1996). Agentes múltiplos, que são seres humanos ou simulações por computador, podem trabalhar no mesmo computador ou compartilhar uma rede de computadores.

- Aprendizagem com co-aprendiz (*Co-learner*): a idéia de introduzir um co-aprendiz no processo de aprendizagem originou-se da percepção de que o conhecimento deve resultar, mais de um processo de construção que de um processo de transmissão como proposto por Gilmore e Self (*apud ibid.*). Neste escopo, o aprendiz pode cooperar com um *co-aprendiz* com quem tem muitos objetivos e níveis de conhecimento similares. Um aprendiz tem uma compreensão mais fácil das explicações dadas pelo co-aprendiz, que entende, conhece o que fazer e como responder, tanto quanto o professor.

Supõe-se que o co-aprendiz passou pelos mesmos problemas de compreensão e por isso está mais informado do nível de explicação e dos detalhes para a resolução de um problema dado. O nível de conhecimento de um co-aprendiz é ligeiramente mais alto que do aprendiz. Chan e Baskin (*apud ibid.*) propuseram *três agentes de situações de aprendizagem*, que consistem na cooperação entre um aprendiz humano e um colega simulado que aprendem juntos sob a guia de um professor. O aprendiz e o co-aprendiz (o colega) executam a mesma tarefa e se não acharem uma solução trocam idéias a respeito do problema.

O papel do professor é, então, apresentar alternativamente problemas e críticas às soluções dos aprendizes. O processo é gradual, no sentido de que cada aprendiz produz uma solução que verifica a outra solução. Finalmente, o professor verifica a solução que lhe é submetida, com a finalidade

de corrigir qualquer erro remanescente. O companheiro e o aprendiz possuem níveis de conhecimento similares, enquanto o tutor possui um nível mais alto.

- Aprendizagem por ensino (*Learning by teaching*): Chan e Baskin (*apud ibid.*) propuseram também uma forma adicional, derivada da aprendizagem por acompanhamento. A idéia era encorajar os aprendizes (humanos) a ensinarem os colegas, mediante a provisão de exemplos, explicando o porquê das soluções inadequadas. Esta abordagem, foi adicionalmente aperfeiçoada por outros estudos como os de Paltheu, Greer e McCalla; Lehn, Ohlsson e Nason (*apud ibid.*). As explicações desta abordagem podem estar fundamentadas na teoria da aprendizagem de Gagné (*apud* Good, Brophy, 1997), para quem a aquisição de conhecimento é realizada quando o aprendiz é capaz de explicar plenamente a solução da tarefa, com seu próprio mecanismo de inferência.

- Aprendizagem pela perturbação (*Learning by disturbing*): estratégia derivada da aprendizagem por co-aprendiz, na qual o colega é uma fonte de perturbação, ou que algumas vezes dá bons conselhos ao aprendiz, ou também que providencia recomendações erradas (Aimeur e Frasson, 1996, p. 115). A meta deste companheiro é provocar a reação do aprendiz.

Esta nova estratégia sugere que o computador possa simular dois agentes: o professor e o criador de perturbações (*troublemaker*), que pode ter distintos comportamentos: dar uma resposta errada a um problema para forçar o aprendiz a reagir e a propor uma solução correta, ou esperar pela solução do aprendiz e dar uma sugestão ou solução erradas, ou exemplo contraposto. O aprendiz explica ao *troublemaker*, controlado pelo professor. Se o aprendiz não está capacitado para a dar uma solução correta, o professor a dará.

O interesse pedagógico desta abordagem está no fato de que o *troublemaker* pode, algumas vezes, fornecer recomendações errôneas, apontando algumas sutilezas que podem estar escondidas. Essa atitude pode também provocar os aprendizes para forçá-los a utilizar e demonstrar a conexão de seus conhecimentos e autoconfiança na defesa das suas opiniões.

Os resultados dos experimentos realizados por Aimeur e Frasson (1996, p. 126) demonstraram que o treinamento pode ser melhorado com aprendizagem pela perturbação, de acordo com certas condições:

- se as pessoas possuem um bom conhecimento da matéria (do assunto) e parece ser perigoso para pessoas com conhecimento fraco;
- o acompanhamento é mais eficiente para aprendizes deficientes.

Aimeur e Frasson (1996) adiantam algumas interpretações a respeito do quê a aprendizagem pela perturbação parece útil para os aprendizes bons e ineficaz para os deficientes:

- o processo de memorização é melhor ativado nas falhas do que em casos bem sucedidos (Gilmore, Self *apud ibid.*), especialmente para aprendizes bons;
- intensifica a atenção do aprendiz, acrescenta a percepção de detalhes e provê o *significado* (Flores, Winograd, 1989, p. 91) para argumentação e memorização;
- os bons aprendizes são mais motivados por situações competitivas, enquanto os aprendizes menos sucedidos aspiram receber ajuda antes de serem perturbados. Não existe a competição na estratégia de acompanhamento, mas sim cooperação;
- tem a vantagem de ressaltar a atenção do aprendiz, as sutilezas de algumas questões que poderiam ter sido escondidas.

Como pode-se ver, cada método requer um diálogo entre o aprendiz e o sistema e as explicações são fundamentais. O aprendiz pode pedir uma explicação para justificar sua opinião, propor uma solução alternativa, ajudar outro usuário a formular suas questões, reconhecer as interpretações erradas e compreender as motivações dos seus colegas de aprendizado.

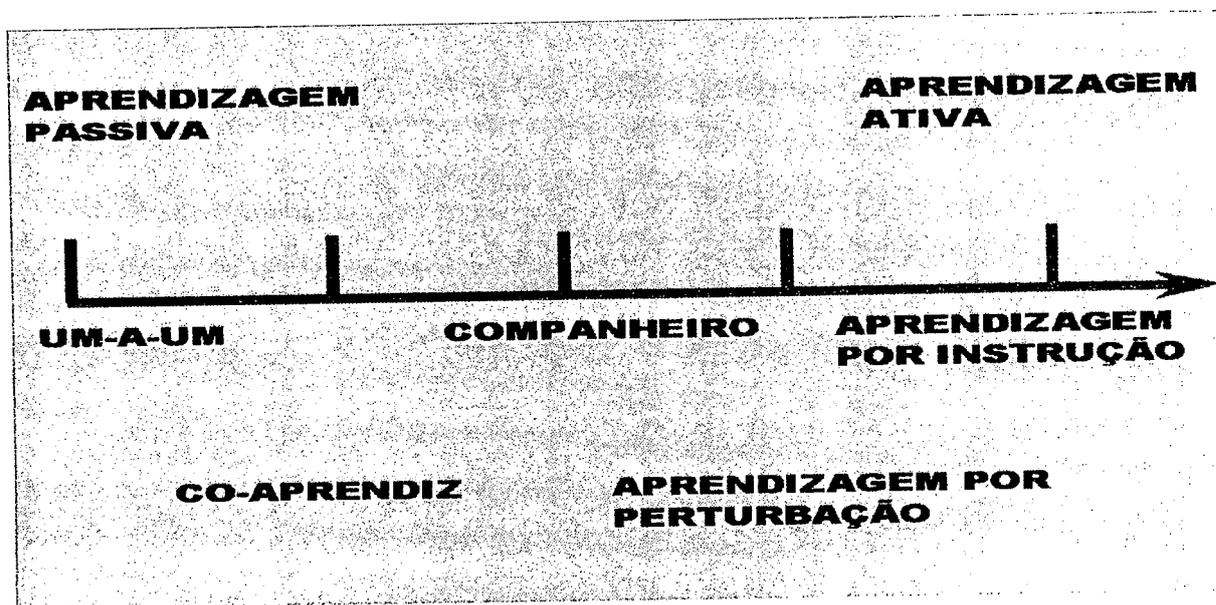
A evolução das estratégias de aprendizagem, em ambientes inteligentes de ensino, avança com o objetivo de obter uma maior participação do aprendiz no processo de aquisição de conhecimento. De qualquer modo, existe necessidade de testar a autoconfiança do aprendiz para introduzir novas formas de motivação, para incrementar o grau de estimulação e para fixar o conhecimento no aprendiz. A abordagem dos ambientes inteligentes para a aprendizagem evoluiu de uma atitude passiva para uma forma mais ativa do aprendiz. Os diferentes graus de implicação são ilustrados na Fig. 42.

Um método muito utilizado pelos tutores de um modo geral, é o chamado método *socrático*, em que, partindo de conhecimentos que o aluno já domina, o tutor ensina através de perguntas e diálogos, levando o aluno a tirar suas próprias conclusões, sendo este seu grande ganho em relação aos CAI tradicionais, onde as conclusões são apresentadas ao aluno e ele as recebe de forma passiva, mesmo que as mesmas sejam apresentadas com sofisticados recursos Multimídia.

Outro modelo teórico empregado em STI é o *coaching* (treinamento), que emprega atividades de entretenimento, como jogos para transmitir conceitos relacionados. *A aprendizagem é uma consequência indireta da atuação nessa simulação* (Werneck *apud* Giraffa, *op. cit.* p. 46).

Utiliza-se ainda as estratégias pedagógicas de orientação (o sistema é explicitamente chamado pelo aluno quando este requisita palpites, expansões ou críticas) e cooperação utilizadas na abordagem de agentes.

Fig. 42: Evolução de estratégias de aprendizagem.



Fonte: Aimeur, Frasson (1996, p. 120).

Um terceiro modelo surgiu com a utilização de hipertextos (Concklin *apud* Giraffa, *op. cit.* p. 47), onde o estudante navega numa estrutura de hipertexto e explora o conteúdo a partir dos seus interesses e pré-requisitos. Este documento está organizado de tal maneira que cada subdivisão lógica do assunto está ligada ao documento, através de diversos tipos de ligações, possibilitando que o aluno navegue por diferentes alternativas para explorar o domínio.

O modelo de hipertexto abre excelentes perspectivas para a construção de STIs, uma vez que pode abrigar, no mesmo documento, diferentes formas de representação de conhecimento. Além disto, o aluno pode trabalhar de forma mais participativa e dinâmica, podendo ser orientado no aspecto pedagógico de forma diferente a que ocorre num STI tradicional. O aluno pode controlar dinamicamente as informações, refletindo sua lógica pessoal que pode (e na maioria das vezes é) ser diferenciada da lógica do autor do sistema. Com as atuais tecnologias de acesso em rede, podemos pensar na possibilidade de acessos às informações simultaneamente, por vários usuários.

Tutores humanos ou máquinas, segundo Half (apud Giraffa, *op. cit.* p. 50), podem usar muitas formas técnicas instrucionais diferentes para a interação tutorial com o aluno; entretanto, elas são conduzidas de três maneiras:

- um tutor exerce um controle sobre o curriculum e seleciona o material e a seqüência em que ele será apresentado;
- um tutor está apto a responder aos estudantes sobre questões do conteúdo que está sendo trabalhado;
- um tutor está apto a determinar quando um estudante necessita de ajuda no curso, qual a habilidade ou tipo de ajuda que ele necessita.

Tanto tutores humanos, quanto computacionais (máquinas) possuem modelos muito fracos para uma ou duas destas funções e, no entanto, qualquer metodologia e suas conseqüentes estratégias de ensino devem incluir uma abordagem de cada uma destas três maneiras, sob pena de não ter resultados satisfatórios no trabalho junto ao aluno.

Existe uma certa mistura de conceitos quando se trata de currículo e instrução. Por currículo se entende a seleção e sequenciação do material a ser apresentado ao aluno. Por instrução será a efetiva apresentação deste material para o aluno, ou seja, a forma como este conteúdo organizado no currículo será trabalhado com o aluno, implicando, assim, o que chamamos de metodologias de ensino que utilizarão técnicas de ensino para sua efetivação.

5.2.3.1 Métodos e Técnicas de ensino

É o especialista que analisa as respostas do aprendiz, procurando achar conceitos desconhecidos, o nível de assimilação e motivação (Corredor, 1989, p. 44). Os métodos e as técnicas de ensino, segundo Eusébio (apud Giraffa, op. cit., p. 50), são muito variados. Um método de ensino representa um caminho no sentido de um dado objetivo de ensino. Uma técnica de ensino diz respeito a uma habilidade que recorre a determinadas regras para conseguir certos fins.

Para cada aspecto levado em consideração e alguns aspectos importantes no processo de ensino-aprendizagem, ter-se-á um respectivo método, que mais se adequa à situação. Os métodos serão brevemente descritos a seguir (Giraffa, op.cit., p. 50):

- método dedutivo: consiste na apresentação, por parte dos professores, do assunto da aula do geral para o particular, apresentando conceitos e definições, para a partir daí extrair conclusões e conseqüências.
- método indutivo: utiliza o caminho oposto do anterior. O assunto é apresentado a partir de casos particulares, de forma a levar à descoberta do princípio geral. A técnica de redescoberta inspira-se na indução.

- método analógico ou comparativo: os dados particulares permitem comparações que levam conclusões por semelhança. O estudo de analogias entre duas situações é um bom exemplo disto.
- método lógico: os dados são apresentados em ordem, do antecedente para o conseqüente, do simples para o complexo, da origem para a atualidade, obedecendo à forma como os fatos estão estruturados.
- método psicológico: a apresentação dos elementos é feita de acordo com os interesses, necessidades e experiências do aluno. A motivação de momento tem uma importância muito grande na orientação dos assuntos a ensinar. Segue, preferencialmente do concreto para o abstrato.
- método de sistematização rígida: utiliza o esquema da aula, é seguido à risca como planejado, não permitindo qualquer flexibilidade.
- método de sistematização semi-rígida: o esquema da aula permite uma certa flexibilidade para uma melhor adaptação às condições da aula, da classe e do meio social que a escola serve.
- método ocasional: aproveita a motivação do momento, bem como os acontecimentos relevantes do meio, no sentido de orientar o assunto da aula.
- método passivo: dá ênfase na atividade do professor, ficando os alunos numa atitude passiva, limitando-se a possibilidade de discutir.
- método ativo: ao contrário do passivo, procura o desenvolvimento da aula através de uma participação constante do aluno, não só discutindo, mas também realizando tarefas.
- método de trabalho individual: procura-se atender, principalmente as diferenças individuais; o trabalho escolar é ajustado ao aluno por meio de tarefas diferenciadas, estudo dirigido ou contratos de estudo, sendo a tarefa do professor mais a de orientar os alunos nas suas dificuldades.
- método de trabalho coletivo: a ênfase vai para o trabalho em grupo. Um plano de estudo é distribuído e repartido pelos elementos do grupo, ficando cada elemento com uma parcela da responsabilidade total. Da reunião dos esforços dos alunos e da colaboração entre eles resulta o trabalho total.
- método misto: utiliza atividades de grupo e também atividades individuais.
- método dogmático: o aluno tem de guardar o que o professor ensina, como se fosse a verdade absoluta, para mais tarde recitar.

- método heurístico: o professor procura interessar o aluno na compreensão do assunto, em vez de se limitar a fixar. O assunto é apresentado com explicações e justificações lógicas e teóricas. O aluno pode discordar ou exigir explicações para que o assunto seja aceito como verdadeiro.

- método analítico: baseia-se na concepção de que, para compreender um fenômeno, é preciso conhecer as partes que o constituem. Assim os assuntos da aula são apresentados com a decomposição de cada conceito nas suas partes. Por exemplo, na alfabetização a utilização deste método consiste em considerar uma frase para chegar ao conhecimento das letras. O método analítico *separa as partes do todo, sem o destruir, para melhor o conhecer.*

- método sintético: os fenômenos não são estudados a partir de como se apresentam, mas a partir dos seus elementos constituintes de uma forma progressiva até chegar ao fenômeno. Neste método procede-se a uma união dos elementos para chegar ao todo. No exemplo da alfabetização, parte-se das letras, passando às sílabas, às palavras que reunidas formam as frases.

Existem muitas técnicas de ensino, das quais destacam-se as seguintes:

- expositiva: onde o professor faz uma exposição do assunto da aula;
- perguntas: através de questões cuidadosamente colocadas levam a um melhor conhecimento do aluno, das suas dificuldades e interesses; a do diálogo, que consiste em levar o aluno a refletir sobre os temas em foco, sobre os seus conceitos, a fim de ele mesmo avaliar a veracidade dos mesmos ou elaborar novas proposições;
- discussão: consiste na discussão de um tema, por parte dos alunos, sob a direção do professor; a da redescoberta, tem por objetivo levar o aluno a tirar determinadas conclusões, pondo-lhe dúvidas ou perguntas, levando-o a determinadas experiências ou observações sem que lhe seja revelada a finalidade, apresentando casos semelhantes de um mesmo fenômeno, em situações diferentes;
- demonstração: para comprovar determinadas afirmações apresentando razões ou fatos logicamente encadeados; a técnica do seminário que consta da reunião do professor com os seus alunos com vista à investigação de pontos concretos da ciência a que se dedicam, no sentido de orientar o aluno para o trabalho científico e o hábito de raciocínio objetivo.

5.2.3.2 Currículo e instrução

O problema em se desenvolver um currículo e instruções para um sistema tutor é desenvolver métodos de seleção e seqüenciação do material e métodos de apresentação deste material de

maneira a levar em consideração os diferentes tipos de alunos que podem usar o mesmo ambiente, tendo os mesmos ou distintos objetivos.

Os STIs devem levar em consideração, no seu *design*, a natureza da aprendizagem e o paradigma educacional onde está baseado, a natureza do ensino (decorrente deste paradigma) e a natureza do assunto que está sendo abordado..

As instruções ou estratégias de ensino se referem aos métodos instrucionais que um tutor autômata pode usar para distribuição do currículo. Estes métodos devem cobrir uma apresentação inicial do material, meios para responder às questões dos alunos e condições e conteúdos para uma eventual intervenção.

O problema do currículo pode ser dividido em duas partes: formular uma representação do material e a seleção e sequenciação dos conceitos a partir de sua representação. Em STI a representação do conhecimento envolve o uso adequado de um módulo especialista onde se armazena o conhecimento.

Os métodos usados para apresentar este material depende do conteúdo e dos objetivos instrucionais. Tutores expositivos usam diálogos estruturados para fazer sua apresentação. Tutores orientados para trabalhar com habilidades procedurais usam exemplos e exercícios de treinamento para desenvolver estas habilidades.

Os métodos usados para apresentar o material dependem do objetivo, do tipo do conteúdo e objetivos pedagógicos que se pretende atingir. Os métodos mais utilizados em STI são (Giraffa, 1997, p. 54):

- *diálogos*: os tópicos envolvendo diálogos para tutores expositivos necessitam que os diálogos sejam planejados de acordo com o objetivo educacional que se pretende e os diálogos devem estar sensíveis ao contexto onde estão ocorrendo.

- *modelagem instrucional*: é o uso de exemplos de trabalho ou prática dirigida, funcionando como uma primeira maneira para introduzir estudantes aos procedimentos que eles precisam aprender. Ex. SOPHIE II e MANBORAD; a primeira usa textos para explicar procedimentos, pré-requisitos e relações e a segunda um meio gráfico.

- *respondendo perguntas*: responder perguntas é uma função essencial num tutor humano, ou de tutor autômato. A maioria dos STIs possui um conjunto muito restrito de possibilidades de responder perguntas do aluno, uma vez que a compreensão e o processamento de linguagem natural, ainda é um problema em aberto na IA.

Ex.: SCHOLAR, SOPHIE, SOPHIE I, SOPHIE II podem responder questões através de palavras-chave onde se podem identificar problemas na compreensão do assunto envolvido.

- *intervenção do tutor*: um dos primeiros benefícios que o uso de técnicas de IA trouxe para os STIs ou ICAIs foi a possibilidade de interromper o trabalho do aluno para poder auxiliá-lo a atingir seus objetivos. Embora este seja um traço característico da abordagem comportamentalista, a preocupação em acelerar o alcance do objetivo induzindo e conduzindo o aluno, não podemos negar o mérito destes estudos que permitem que o tutor mantenha o controle da situação tutorial e não permita que o aluno aprenda de forma incorreta e mantenha o aluno em caminhos instrucionalmente úteis, em função dos objetivos instrucionais que se deseja alcançar. A automação deste processo de intervenção envolve regras imaginárias para decidir quando intervir (ou não) e a formulação do conteúdo desta intervenção.

Existem duas abordagens para tratar a questão da intervenção tutorial: a *Model Tracing* (rastreamento do modelo), intervenção utilizada sempre que o estudante estiver perdido da solução conhecida do problema e *Issue-based tutoring* (tutoramento baseado em resultado), intervenção ativada apenas quando o tutor pode fazer uma identificação positiva de uma ocasião em particular para a intervenção.

Ex.: os tutores Anderson, Brown, Boyle e Gentner utilizam estes princípios de decisão para intervisem nos seus STIs.

Quando um tutor decide fazer uma intervenção, ele deve formular o seu conteúdo. Não existe, na literatura, uma abordagem uniforme para o conteúdo da intervenção entre os treinamentos feitos por computador.

A estratégia conhecida como *estratégia de generalização* aplicada ao domínio particular do ensino de programação para iniciantes, caracteriza-se por pegar os erros de estrutura, sintaxe e semântica, mostrá-los ao aluno e dizer onde e por que os erros aconteceram e depois iniciar as correções (Chang, Chiao, Hsiao *apud* Giraffa, *op. cit.* p. 57). Entretanto, esta estratégia mostra seus inconvenientes, pois o aluno iniciante pode ter uma atitude depressiva e frustrada ao começar a fazer seu programa e se deparar com uma grande coleção de erros. Além do inconveniente de que a solução apresentada pelo sistema geralmente se reduz a apenas uma, desconsiderando outras possibilidades de resolução do problema.

Para evitar estes problemas está sendo usada a *estratégia de acabamento* proposta por Van Merriënboer (*apud* Giraffa *op.cit.* p. 57), onde é apresentado um programa incompleto, mas muito bem projetado para o aluno poder fazer acabamentos, modificações e extensões.

Outra estratégia utilizada em STI é a aplicação da crença de *aprender-fazendo*, onde a aprendizagem é produzida por compromissos dos alunos na realização de atividades cognitivas complexas, que envolvem colegas, especialistas, professores e STIs como parceiros. Esta estratégia pode auxiliar muito no aprendizado de ambientes exploratórios, onde alunos e seus colegas, utilizam parecerias com professores fazendo com que estes sistemas sejam uma base para aprendizagens futuras, pois permitem descobrir como os alunos usam os recursos de treinamento que o sistema dispõe para eles.

5.2.4 Módulo de controle.

O módulo de controle gerencia o funcionamento do sistema tutor. A grosso modo, seu ciclo de execução pode ser caracterizado da seguinte forma (Oliveira, 1994):

- selecionar uma estratégia de ensino do banco de estratégias;
- com base na estratégia de ensino, selecionar um material instrucional da base de conhecimento do domínio;
- apresentar o material para o estudante através do módulo de interface (o que pode incluir apresentação de exercícios e solução dos exercícios propostos);
- a partir das respostas do estudante, diagnosticar seu comportamento e monitorar seu progresso, lendo/atualizando o modelo do aluno e reiniciando o ciclo.

Este é o módulo responsável pela coordenação geral do tutor, no que diz respeito às suas funções, interfaces de linguagem natural, troca de informações entre os módulos, comunicação com outros programas utilitários através do sistema operacional.

A comunicação entre os módulos do tutor consiste em guardar ou ler arquivos, manter um arquivo histórico da sessão de aprendizagem, ativação e desativação dos bancos de dados, que podem ser pensados como "*mundos*" criados a partir da interação entre o tutor e o aluno.

Os ICAIs possuem uma capacidade de aprendizagem no que se refere às alterações feitas na regra do tutor, resultantes do processo de interação com o aluno.

Em alguns tutores o núcleo inicial não fica alterado no final da sessão, reiniciando da mesma forma para qualquer novo usuário, enquanto que em outros modelos mais aperfeiçoados, a cada interação o banco de dados inicial fica alterado, de modo que o sistema evolui, aprendendo com cada usuário, aplicando estes novos conhecimentos a cada aluno.

5.2.5 Interface

É o especialista interpretador da linguagem natural (Corredor, 1989, p. 44). Sabe-se que uma boa interface é vital para o sucesso de qualquer sistema interativo, e sistemas tutores inteligentes não constituem exceção. Pelo contrário, pode-se dizer que a questão da interação cresce de importância nesta classe de sistemas, pois é na interação que o sistema tutor exerce duas de suas principais funções (Oliveira, 1994):

- a apresentação do material instrucional;
- a monitoração do progresso do estudante através da recepção da resposta do aluno.

Dessas duas funções, pode-se derivar alguns objetivos a serem cumpridos pelo módulo de interface Giraffa (1997, p. 58):

- é necessário evitar que o estudante se entedie, ou seja, é preciso riqueza de recursos na apresentação do material instrucional;
- é desejável que haja facilidade para troca da iniciativa do diálogo: o estudante deve poder intervir facilmente no discurso do tutor, e vice-versa;
- o tempo de resposta deve, evidentemente, permanecer dentro de limites aceitáveis;
- a monitoração deve ser realizada o máximo possível em *background*, para não onerar o estudante com questionários excessivos, mas respeitando também a barreira do tempo de resposta.

As possibilidades de apresentação do material instrucional têm recebido um significativo avanço a partir da utilização de sistemas de hipertexto e *hipermídia*. A variedade dos recursos, aliada à possibilidade de percorrer o material de maneira vinculada à semântica do conteúdo, fazem dos sistemas de *hipermídia* uma ferramenta de alto potencial para apresentação do material instrucional em STIs.

A monitoração do progresso do estudante ocorre em dois níveis:

- no nível da análise do histórico do estudante, ou seja, de uma sessão para outra;
- no nível do diagnóstico circunscrito a uma sessão.

Evidentemente, o funcionamento da interface está mais relacionado ao segundo nível. Mas estes níveis não são totalmente estanques; ao contrário, deverão em geral trocar informações entre si. Haverá momentos em que mesmo o diagnóstico local, para ser fidedigno, deverá levar em conta o histórico armazenado no modelo do estudante (note-se que se assume que o modelo contém o histórico, o que nem sempre é verdadeiro). No entanto, uma busca no histórico pode ser demorada, comprometendo o tempo de resposta na interação; convém, portanto, utilizá-la com parcimônia.

O conceito de nível de sessão está explicitado na noção de *modelo do discurso*, utilizada em Linguística Computacional, onde é objeto de amplo estudo. O modelo do discurso é uma estrutura que está representando o contexto da interação a cada instante, ou seja, os tópicos que estão sendo discutidos. O modelo do discurso também deverá incluir uma representação dos objetivos imediatos de cada um dos participantes da interação (em contraposição às intenções gerais do aluno, armazenadas no modelo do aluno). Assim, geralmente haverá uma interseção entre o modelo do estudante e o modelo do discurso.

Geralmente a comunicação é estabelecida através de menus, símbolos e frases em língua natural, utilizando janelas e cores. Durante a sessão, tanto o tutor como o aluno podem mudar a forma de diálogo (apresentação). Sempre que possível procura-se comunicação através de menus, gráficos ou ícones.

A interface em linguagem natural utiliza um subsistema composto por um dicionário de palavras e um conjunto de regras gramaticais, podendo possuir a capacidade de aprender novas regras, novas construções sintáticas e categorias gramaticais, corrigir erros ortográficos através da geração e comprovação de hipóteses. A forma do aluno se comunicar com o tutor é feita através de restrições na linguagem a fim de viabilizar a comunicação.

A correção ortográfica é feita da forma usual, utilizando um dicionário de palavras, através do qual o tutor formula hipóteses sobre sua categoria sintática quando não encontra a palavra exatamente igual à digitada pelo aluno.

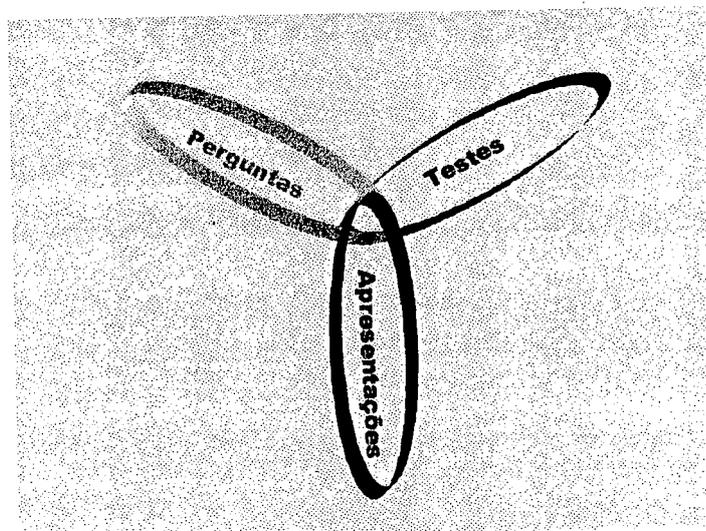
5.3 Outras arquiteturas clássicas.

Uma retrospectiva dos STIs nas duas últimas décadas, pode ser encontrada em Giraffa (*op. cit.* p. 26). A seguir, serão analisadas algumas arquiteturas de STIs, que podem ter utilidade para a formulação do modelo.

5.3.1 A Proposta de Wu

A proposta de Wu (1995, 1995a) aborda um novo *Framework* para STI, que em comparação com os tradicionais pontos de vista sobre os STIs propostos por Clancey (*apud* Giraffa, 1997) – três classes de modelos são integrados em um programa de instrução: Material do Assunto, Modelo de Estudante e Procedimentos Instrucionais de Técnicas de Ensino –, consiste em um *Framework* para STI, que inclui os seguintes três modelos: *apresentações, perguntas e modelos de testes*, como se mostra na figura 43.

Fig. 43: *Framework* conceitual para STI.



Fonte : Wu (1996, p. 4).

Wu justifica sua proposta, argumentando que os fatores chave do sucesso para o ensino e a aprendizagem são: *como o domínio de conhecimento é organizado, como este é apresentado* (parecido ao de Clancey, assuntos materiais e procedimentos do ensino) *e como as questões e testes são fornecidos* para garantir de que os estudantes tenham uma boa interpretação do *significado* (Flores, Winograd, 1989, p. 91) do conhecimento apresentado – modelos de perguntas e testes não estão de modo algum refletidos pelos modelos do estudante de Clancey –. Wu argumenta que a razão para usar nomes diferentes em vez de “*modelo de estudante*”, está em que *precisa-se enfatizar a intenção de se obter uma aproximação da intratabilidade do problema do modelo de estudante* observada por Self (1990 *apud* Wu, 1995), através de uma cuidadosa forma de organização de perguntas e testes – granulação fina de conceitos e conhecimentos apresentados – para representar *os estágios da aprendizagem dos estudantes, e para detectar as possíveis concepções erradas na compreensão, e assim, ajudá-los mais efetivamente a aprender os conhecimentos apresentados* (Wu, 1995a, p. 1).

Nesta proposta de estrutura para STI, a granulação grossa para apresentação de domínios de conhecimento está baseada em redes semânticas, enquanto a granulação fina de representação de conhecimento e conceitos de apresentação de conhecimento está baseada em conjuntos: base de conhecimento – um *two-tuple*, um discurso universal é uma classe de relações impostas sobre o conjunto universal –, e conceitos – subconjuntos do conjunto universal –, como proposto por Pawlak (1991). O formalismo *Rough Set* (Pawlak, 1991) – a emergente nova tecnologia, concernente à análise

classificatória do impreciso⁹, incerto, ou da informação incompleta – é usado na avaliação da performance da aprendizagem dos estudantes. Correspondentes à descrição sucinta de Pawlak (1994, p. 73) a respeito do *conceito de imprecisão*¹⁰, temos: *a imprecisão da avaliação da aprendizagem dos estudantes e a imprecisão da compreensão das relações entre conceitos dependentes das preferências do instrutor* (Wu, 1995b, p.7). Um processo automatizado da interpretação, da aprendizagem e compreensão do estudante (através das suas repostas às perguntas e provas) podem ser sistematicamente representados com estas bases.

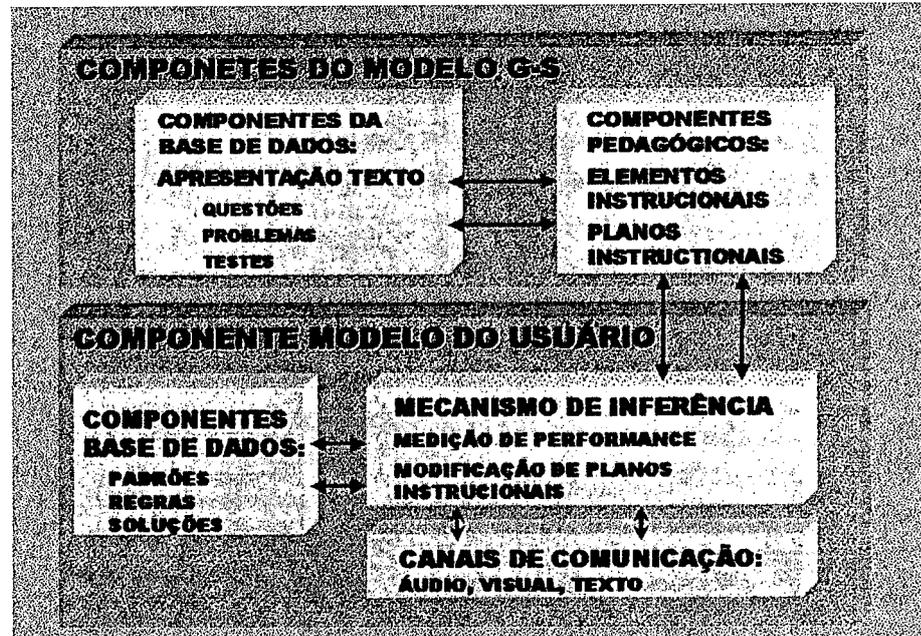
Quando o ensino é realizado por professores humanos ou STIs, *os fatores psicológicos executam papéis dominantes no desempenho do processo de ensino* (Wu, 1995a, p.1). Com o objetivo de implementar suas propostas, Wu propõe a construção de um sistema tutorial “*mais adaptativo aos diferentes estudantes e professores*”, cuja arquitetura é mostrada na figura 44. A ATA consiste em três modelos inte-rrelacionados – *apresentação, questões, e testes*–. A estrutura mostra como o conhecimento científico é representado, como as estratégias instrucionais são incorporadas no sistema e como a avaliação do aprendizado dos estudantes em estágios pode ser implementada.

O propósito dos projetos desta classe de tutoriais tem sido o de prestar apoio ao ensino do conhecimento científico. A meta principal deste tipo de sistemas é facilitar a aprendizagem do conhecimento requerido e auxiliar uma parte das responsabilidades nas obrigações dos professores e na abordagem do ensino construtivista. A avaliação da aprendizagem do estudante é feita de acordo com os conhecimentos do sistema a respeito do aprendiz; adicionalmente, é provida uma avaliação técnica e flexível, baseada na aproximação *Rough Set* (Wu, 1995):

⁹A tecnologia de Lógica Difusa (também descrita como conjuntos difusos ou algoritmo da teoria difusa) foi estabelecida por Zadech em 1965. Como a tecnologia tem amadurecido, foi reconhecida como uma abordagem adequada para a representação de tomada de decisões humanas. Desde que o modelo de estudante (ou treinando) é uma característica central nas aplicações STI, os algoritmos difusos podem prover um método superior para representar certeza dos estados mentais do estudante ou (treinando). Em vez de usar representações absolutas (ex. “o estudante tem/ou não aprendido o procedimento A”) nesses modelos, uma avaliação mais realista da performance do estudante deve ser obtida. Adicionalmente *à modelagem do estudante, as decisões tomadas pelo treinador devem ser também modeladas, efetivamente, usando uma abordagem difusa* (Loftin, Savely, 1991, p. 11).

¹⁰Na teoria *Rough Set*, cada conceito impreciso é trocado por um par de conceitos precisos chamados aproximações baixa e alta; a aproximação inferior de um conceito consiste de todos os objetos que possuem pertinência segura desse conceito, enquanto que a aproximação superior desses conceitos consiste em todos os objetos nos quais seja possível a pertinência desse conceito.

Figura 44: Arquitetura de ATA.



Fonte : Wu (1996, p. 4).

5.3.2 A proposta de Djamen.

A proposta de arquitetura de Djamen (1996), baseada no modelo teórico (chamado *Physical, Intentional and Functional Knowledge – PIF*) que incorpora conhecimento físico, intencional e funcional de um domínio dado, será descrita brevemente, antes da apresentação da arquitetura.

Segundo Djamen (1993, 1995), de acordo com o modelo PIF, *um sistema físico dado¹¹ pode ser visto de uma perspectiva física, intencional, e funcional.*

- Em consideração às perspectivas físicas, um sistema físico é um conjunto de componentes chamados *physical units* (PUs) que mantém várias relações, tais como a formação (*made-of*), pertinência (*belonging*), inclusão (*inclusion*), etc. Essas relações, também chamadas relações físicas, não incluem causalidade entre PUs ou um particular uso de PU.

- Em consideração às perspectivas funcionais, um sistema físico é um conjunto de componentes chamados unidades funcionais - UF (*functional units* FUs), aos quais são atribuídos valores, usados de acordo com algum evento externo (ex. uma ação ou um constituinte), ou evento interno (ex. efeito de uma mudança de valor de um constituinte), para descrever seu funcionamento.

¹¹ Por exemplo, a intenção do treinador inclui material, sua seqüência e algumas suposições sobre os treinados (seus níveis, comportamentos, etc.).

• Em relação às perspectivas intencionais, o professor e o aprendiz usam o sistema físico para experimentar suas intenções durante a sessão de ensino. *Essas intenções podem ser vistas como componentes de transições de estado de um modelo mental, precedido por condições iniciais e seguido por condições finais, que o sistema físico e/ou um dos usuários podem satisfazer* (Djamen, 1995). O planejamento geral dessas intenções pode ser representado em um ou vários grafos onde as soluções do professor e do aprendiz são descritos.

A originalidade desta arquitetura reside na forma em que vários níveis de raciocínio de análise de treinamento são implementados. O primeiro nível (*Análise 1*) implementa a confrontação da intenção do estudante (ex. plano) e um modelo hierárquico de decomposição de tarefas (grafos tarefas), obtidos via análise cognitiva da tarefa. Esta implementação tem a vantagem de obter do sistema uma resposta rápida para as ações do estudante e permitir um nível de aconselhamento e crítica não trivial, como por ex., o estudante possui formas alternativas para executar tarefas semelhantes.

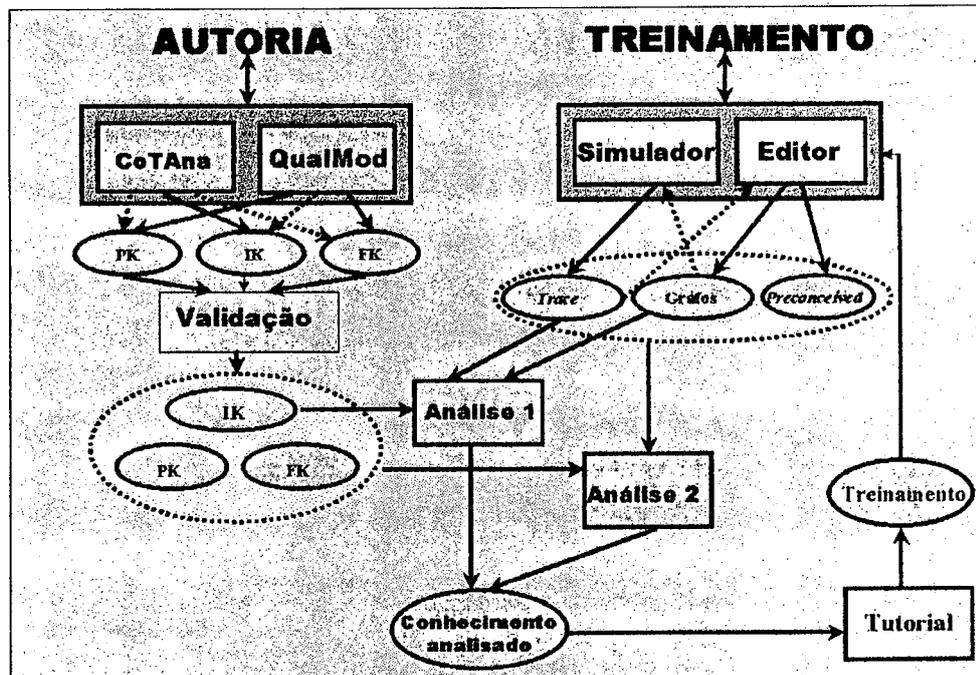
Contudo, tarefas exaustivas e detalhadas de decomposição de grafos são difíceis de serem obtidas e exploradas, em função do arquivamento de níveis de ensino adequados a todas as circunstâncias. O único exemplo realizado com sucesso foi Sherlock (Lesgold, 1992), com o custo de trabalho intensivo em análise de tarefas cognitivas e codificação como gráfico de tarefas.

A abordagem proposta pelo autor limita a análise de tarefas cognitivas para as atividades principais e mais comuns, que são requeridas enquanto um estudante aprende com um STI. A necessidade de complementar o conhecimento obtido na arquitetura proposta por facilidades de dedução e inferência é chamada "*Análise 2*" na Figura 46. Este nível de análise envolve a utilização de um modelo qualitativo do sistema físico e regras gerais para exploração de ações do estudante pelo uso de analogias e metas parciais de satisfação.

A figura 45 mostra a arquitetura geral para construção de uma grande escala de STIs que podem suportar a análise de raciocínio do treinamento do aprendiz. Esta arquitetura inclui, principalmente, tratamento de duas classes de autoria e tutoria, respectivamente.

Durante a fase de autoria, o resultado da tarefa de análise cognitiva (CoTAna) é armazenada na base de conhecimento intencional (IK), principalmente para o modelo qualitativo (QualMod) e esse resultado é também necessário na obtenção de bases de conhecimento físico e funcional (PK e FK). *A última base incorpora respectivamente conhecimento a respeito da composição do sistema físico e seu funcionamento seguinte* (Djamen, Frasson, Kaltenbach, 1996, p. 6), cujas bases são descritas da seguinte forma:

Figura 45 : Arquitetura de um STI proposta por DJAMEN.



Fonte : Dajamen, Frasson, Kaltenbach (1996, p. 4).

- a base de conhecimento intencional - IK. O usuário, quando interage com o sistema, realiza algumas tarefas. Mais usualmente a realização de uma tarefa geral pode conduzir a uma execução recursiva de algumas sub-tarefas, conduzindo conseqüentemente para a complexidade de algum raciocínio (ex. avaliação, explicação, etc.), devido às varias relações que podem existir entre sub-tarefas. Djamen (1995) e Pachet (1996) usam a abordagem de classes de comportamentos de sub-tarefas para representar e explicar relações entre tarefas.

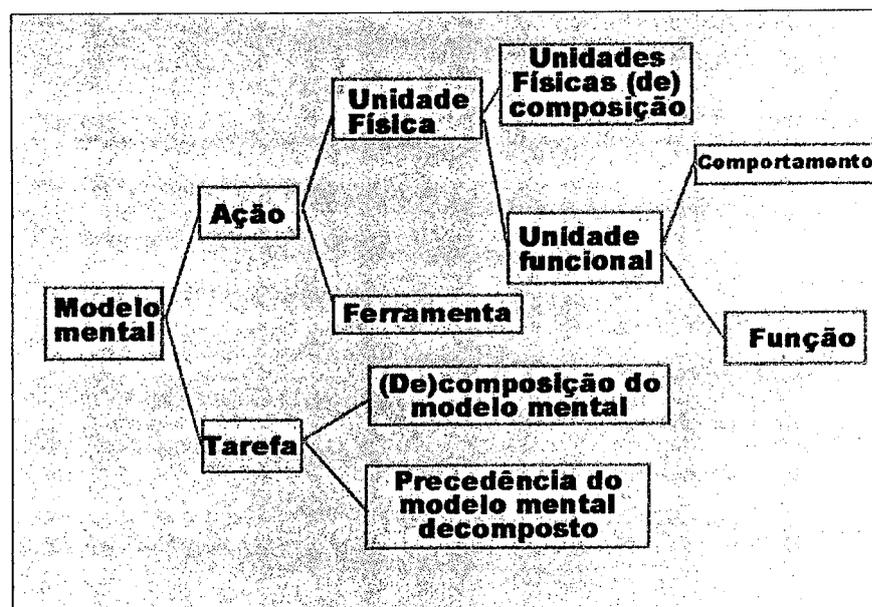
- bases de conhecimento físico e funcional. A base FK pode conter somente uma parte do conhecimento, especialmente o conhecimento visto como uma base de treinamento. Contudo, considerando a possibilidade de manuseio de soluções alternativas de um problema, esta base de conhecimento pode ser incompleta. De fato, somente as soluções comprovadas e seguidas de alguma forma particular de descrição do treinador podem ser representadas. Soluções alternativas podem ser representados usando bases PK e FK.

- a base PK segue perspectivas físicas. Cada PU é descrita de acordo com algumas características, tal como a consideração do ponto de restrição de uma equação (*view point constraint equations*), que permite uma descrição sistemática da disposição dos nós *filhos* em uma estrutura chamada componente grafo. A acessibilidade de um componente concreto pode ser descrito todo o tempo, como um componente referenciado na ação.

A base FK mostra perspectivas funcionais. O comportamento e funções dos Fus' são descritos em um grafo de dependência funcional (FDG) onde uma seta é desenhada entre duas FUs x e y quando a função de x pode influenciar o comportamento de y (Djamen, 1995).

- base de conhecimento integrado. Um trabalho complementar é necessário para determinar relações entre PK, IK, e FK. A figura 46 mostra a estrutura de tais relações para modelo mental, que pode ser desenvolvido na solução de problemas que envolver algumas ações de aprendiz.

Figura 46: Relações entre bases de conhecimento físico, intencional e funcional.



Fonte: (Djamen, Frasson, Kaltenbach, 1996, p. 7).

De fato, o modelo mental também é visto aqui como uma lista de tarefas, algumas delas concretas (ação), outras não (tarefas). Uma ação é feita de um mínimo de PU e de uma ferramenta. Uma PU pode ser recursivamente decomposta em várias outras PUs (terminais ou não). Uma PU terminal pode tornar-se em FU, como se executasse um papel no mecanismo do sistema físico funcional. Neste caso, este papel pode ser definido (Djamen, 1995), como por ex., este comportamento (essa troca de estado) e/ou esta função (efeitos deste estado de trocas). Uma tarefa pode também conduzir a uma decomposição recursiva de modelos mentais, com algumas relações precedentes entre eles.

Durante o ensino, um simulador e um editor coletam representações do raciocínio ou atividades do estudante. Uma representação pode ser um traço linear ou um grafo. Pela coleta do raciocínio, através do uso de algum formalismo, o sistema pode fazer suposições no nível de treinamento de conhecimento.

Com base nessas duas fases, o sistema está pronto para analisar todas as atividades do aprendiz, de acordo com dois eixos essenciais. O primeiro eixo é limitado pelo resultado de análise cognitiva de tarefas (ou de espaço de problema como usualmente é chamado), cujas representações, não suportam todas as soluções alternativas. O segundo eixo puxa a análise para a validação das trocas ocorridas dentro do sistema físico.

O conhecimento é analisado de maneira que possa servir ao ciclo do ensino, para uma melhor apresentação ou seleção de material.

5.4 Sistemas de Treinamento Inteligente assistido por Computador

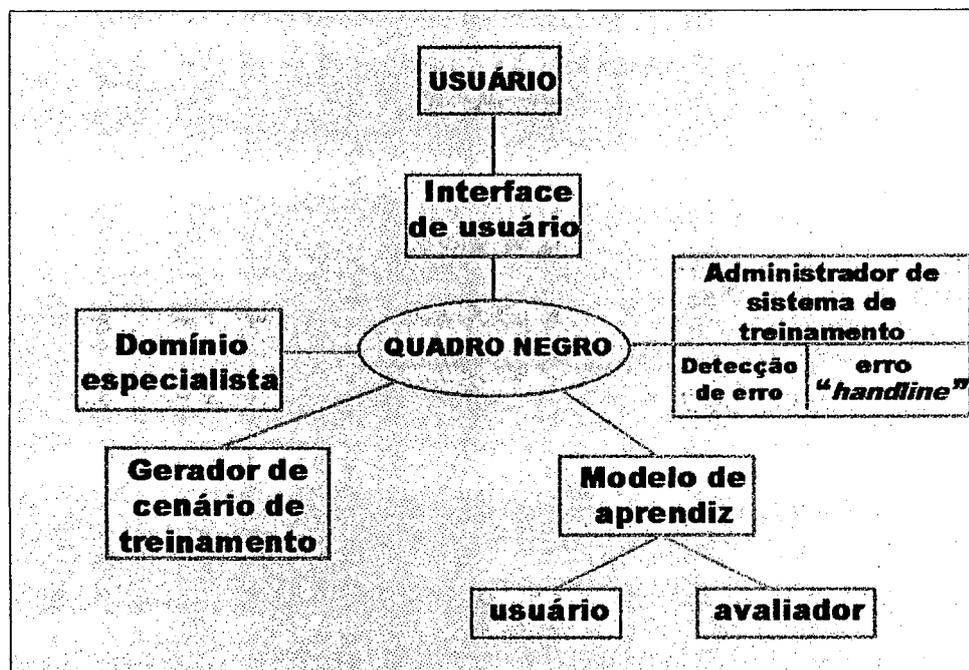
Ao longo do extenso trabalho com STIs para academia, tem havido um desenvolvimento de sistemas dirigidos ao treinamento. Entre eles, se resgata o tutor Boiler (Woolf, Bleguen, Jansen, Verloop, 1986), SOPHIE (Brown, Burton, Klee, 1982) e STEAMER (Hollan, Hutchins, Weitzman, 1981). Esses tutores diferem dos convencionais, por que fornecem um modelo de simulação, com o qual o estudante ou treinando interage. Embora cada um desses sistemas treinadores inteligentes usem a abordagem de simulação interativa, eles possuem diferentes arquiteturas internas. Além disso, parece que não existe concordância, atualmente, em uma arquitetura geral para tais sistemas treinadores de simulação. O trabalho proposto por Loftin e Savely (1991, p. 4), está baseado nas experiências prévias (Loftin, Wang, Baffes, Rua, *apud ibid.*) para o desenvolvimento de sistemas inteligentes de treinamento específico, em uma variedade de tarefas e ambientes com um esforço menos significativo que o requerido para “a arte” da realização de tais sistemas para cada tipo de aplicação.

Este projeto serviu para auxiliar o projeto e o refinamento de uma arquitetura para sistemas de treinamentos inteligentes, que possuam um significativo domínio-independente de elementos, geralmente aplicável no treinamento de tarefas procedurais comuns no ambiente da NASA. Como aparece na figura 47, a arquitetura do Sistema ICAT é modular e consiste de 5 componentes básicos, a saber:

- uma interface de usuário que permite ao aprendiz acessar a informação disponível no ambiente da tarefa e serve ao aprendiz como meio para tomar decisões e comunicar-se com o sistema inteligente de treinamento.
- um domínio especialista que pode levar a cabo a tarefa, usando a mesma informação disponível para o aprendiz, que também contém uma lista de *regras-erradas* (erros explícitos identificados, que o aprendiz novato geralmente comete).

- o gerenciador de sessões de treinamento que analisa as ações tomadas pelo especialista do domínio (de ações corretas e incorretas no contexto particular) e pelo aprendiz e toma decisões apropriadas (Loftin, Baffes, Wang, 1988).
- o modelo de treinamento deve conter a história de interações de treinamento individual com o sistema junto ao sumário de dados avaliativos.
- o gerador de cenários de treinamento que projeta exercícios de treinamento incrementado, baseado no conhecimento do especialista do domínio, de nível atualizado da habilidade contida no modelo de aprendiz e de qualquer ponto fraco ou deficiência mostrada pelo aprendiz na interação prévia (Loftin, Wang, Baffes, 1988).

Fig. 47: Diagrama esquemático do ICAT.



Fonte: Bowen, Loftin (1991, p. 5).

Note-se que a manutenção é feita pelo usuário, para interagir com o sistema de duas formas distintas, cujo sistema o supervisor deve consultar para os dados de avaliação em cada treinamento. O quadro negro serve como um repositório comum de fatos para todos os 5 componentes citados mais acima. Com a exceção do modelo de treinamento, cada componente faz asserções para o quadro negro e os componentes de sistemas especialistas procuram no quadro negro por fatos que emparelhem com suas regras - padrão. Um esforço abrangente foi realizado para separar claramente os componentes de domínio-dependente dos de domínio-independente.

Esta arquitetura foi originalmente implementada em um ambiente *Symbolics 3600 Lisp*, usando Inference Corporation's ART© para os componentes baseados em regras. As interfaces de usuários foram implementadas em X-Windows, os componentes baseados em regras em CLIPS [CLIPS é um acroním para a NASA - *shell* para desenvolvimento de sistemas especialistas escritos em C]- e suportado em código C.

A arquitetura ICAT foi originalmente aplicada para sistemas de treinamento controladores de vôo da NASA e para dispar satélites do *Space Shuttle* (lançadores ao espaço). A mesma arquitetura foi usada na construção de um sistema ICAT para treinamento de astronautas em missões de *Spacelab* e engenheiros que testam os principais sistemas de propulsão dos *Space Shuttle*. Embora essas tarefas sejam diferentes e executadas em ambientes distintos, a arquitetura do sistema para prover adaptação tem sido a mesma.

5.5 Abordagens baseadas na IA Construtivista

O termo *Inteligência Artificial Construtivista* foi utilizado primeiramente por Dresher (1991) para referir-se ao trabalho em IA que vale-se da Psicologia Genética de Piaget como fonte de modelos para o estudo da cognição. Diversos modelos de ambientes inteligentes foram desenvolvidos dentro deste paradigma. Na opinião de Costa (1994, s/n), aí se daria o ponto particular da possível cooperação da IA Construtivista com a informática na educação, como uma extensão das técnicas, linguagens e sistemas de IA, conforme a proposta bastante conhecida de Papert (1980).

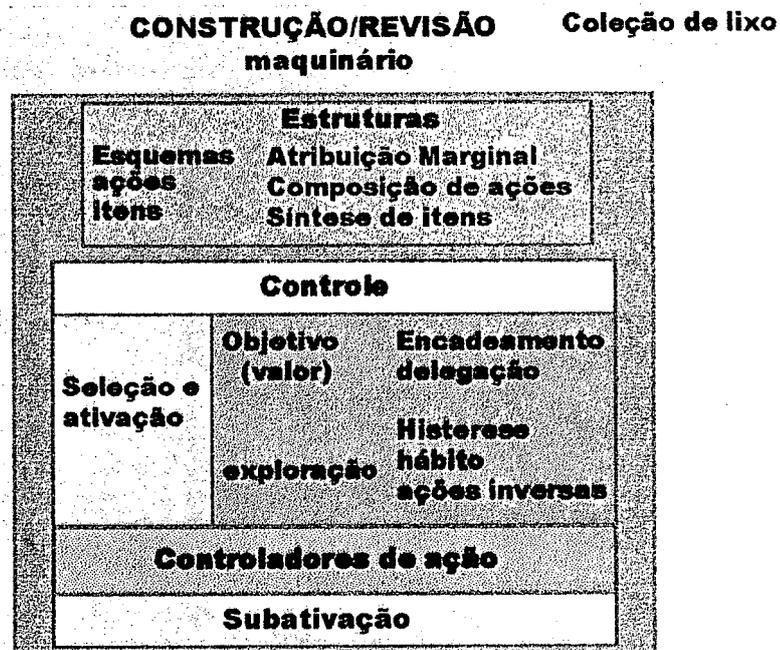
A seguir, serão analisadas algumas propostas desenvolvidas com a fundamentação teórica deste paradigma.

5.5.1 Mecanismo de Esquemas de Dresher

O Mecanismo de Esquemas proposto por Dresher (1991) em seu trabalho de tese para o MIT, mostrado na figura 48, mostra dois objetivos, a saber:

- adquirir conhecimentos através da construção ou revisão de fatos simbólicos a respeito do mundo:
 - › realizando descobertas expressas em termos de elementos representacionais existentes;
 - › construindo novos elementos com os quais se pudesse expressar descobertas adicionais;
- Usar essas construções simbólicas para procurar determinados objetivos e adquirir conhecimentos adicionais.

Fig. 48: Mecanismo de Esquemas.



Fonte : Fialho (1994, p. 311).

Acima de tudo, o projeto de Mecanismo de Esquemas reflete a necessidade de aprender, construir suas próprias estruturas para seu próprio uso, representar o mundo de um modo ao mesmo tempo prático e informativo. Esse mecanismo de esquemas constitui-se uma variação interessante de sistemas de regras, utilizados comumente em IA na construção dos chamados sistemas baseados em conhecimento. O mecanismo de esquemas introduz dois novos procedimentos aos sistemas de regras. Por um lado, realiza um processo ativo de indução a regras (chamado por Drescher, indução não ingênua), a partir da experimentação com as regras existentes e da observação dos resultados que produzem. Por outro lado, *o mecanismo de esquemas está dotado de meios para apresentar não somente ações próprias do sistema, mas também ações externas autônomas, de modo que ele é capaz de representar um mundo externo constituído de objetos* (os objetos permanentes) (Costa, 1995).

O trabalho de Drescher consiste, essencialmente, em simular a gênese da inteligência sensório-motora, tal como foi descrita por Piaget e elaborar um mecanismo computacional capaz de mostrar alguns dos aspectos apresentados pela descrição. Esse também parece ser, por outro lado, o sentido do trabalho desenvolvido por Wremus (*apud ibid.*), no qual a Psicologia Genética serve de inspiração para a proposta de um modelo lógico-formal para atividades cognitivas, modelo dotado de forte conteúdo computacional, baseado na noção de *frame*, desenvolvida em IA.

5.5.2 Modelo de construção de estruturas cognitivas de Wazlawick

Wazlawick (1993) elabora um mecanismo de esquemas baseado em uma combinação de princípios construtivistas e de técnicas de processamento não simbólico por Redes Neurais e Algoritmos Genéticos. O autor estabelece o mecanismo básico de construção e avaliação de esquemas sensorio-motores e mostra como este mecanismo pode dar origem às estruturas cognitivas operatório-concretas. O objetivo do trabalho, segundo Wazlawick, (1993, p. 91) é: *apresentar um modelo de construção de estruturas cognitivas compatível com as noções de esquemas de assimilação e acomodação. O que diferencia este modelo de outros existentes é a compatibilização obtida entre a idéia piagetiana de equilíbrio de esquemas e o motor de pesquisa fornecido pelos algoritmos genéticos.*

Agente inteligente é um sistema dotado de uma população de esquemas de atividades, que orientam a ação do agente em um ambiente determinado. Cada esquema de atividades é uma estrutura composta de uma rede neural com funções sensoriais, e de vetores indicadores de realização de ações e alcance de objetivos. Essa população de esquemas evolui para uma combinação de procedimentos de aprendizagem não supervisionados dos neurônios que compõem os esquemas, e de procedimentos de evolução seletiva de esquemas, conforme o padrão usual dos algoritmos genéticos.

O mecanismo de esquemas de atividades dá, aos agentes que o utilizam, um princípio interno de atividades, adaptado ao ambiente em que funcionam. Essa adaptação (ou equilíbrio) de um esquema em um meio caracteriza-se por um duplo fato, a saber, que o conjunto de informações sensoriais recebidas pelo esquema torna-se o ponto fixo do conjunto de ações que esse esquema determina e do esquema que toma esse mesmo conjunto de informações sensoriais resultantes, como o objetivo que deve alcançar. O fato de os objetivos dos esquemas serem definidos em termos de valores sensoriais e não de valores relativos, a funcionalidade que as ações exercem para o agente como um todo, fazem com que o processo de adaptação, determinado pelo mecanismo de esquemas, apresente uma forte predominância de acomodação sobre a assimilação.

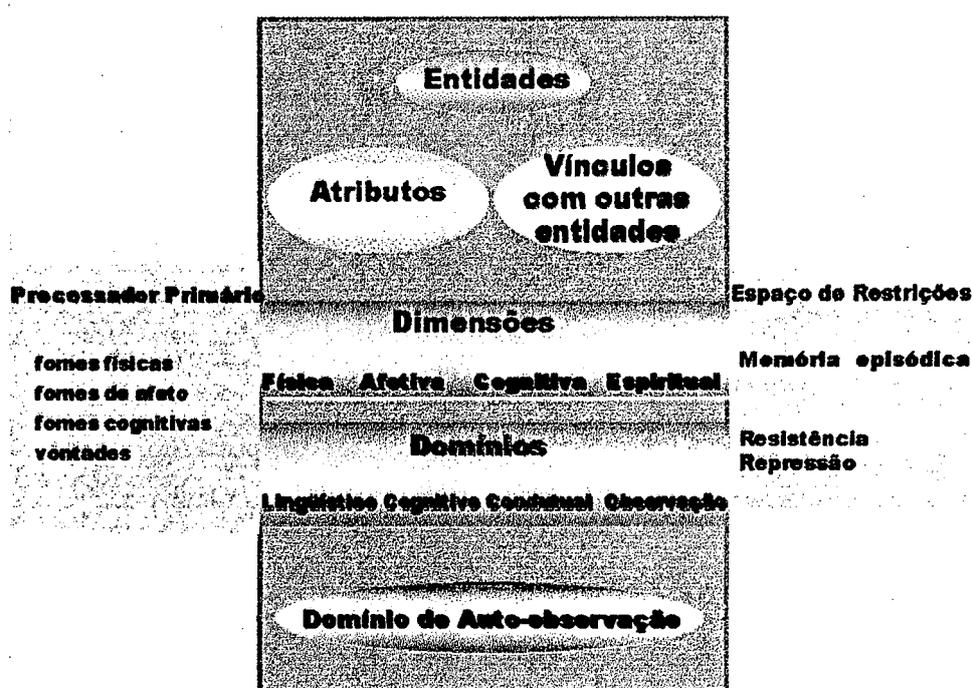
5.5.3 Arquitetura aberta para simulação de entidades autopoieticas.

Fialho (1994) pretende realizar a modelagem computacional do equilíbrio das estruturas cognitivas, como proposto por Piaget, fundamentando-se, teoricamente, nos trabalhos de Maturana e Varela (1972), Piaget e Lacan. Uma representação gráfica do modelo é mostrada na fig. 49. Para esses autores, o pensamento, a aprendizagem e a percepção são processos que dependem da história cognitiva ou, em outras palavras, da ontogênese autopoietica que individualiza os seres humanos.

A contribuição de Fialho consiste na proposta de um modelo geral de bases construtivistas para o ser humano, que não só una as conquistas nas diferentes áreas correlacionadas do

saber, mas que esteja aberta às novas assimilações e acomodações dos avanços que se registrarem nesses conhecimentos. Em outras palavras, uma arquitetura que seja um sistema aberto, tanto em termos de *hardware* como de *software*, um sistema capaz de lidar com a dinâmica natural de execuções não determinísticas. *A realização desse modelo é executável, mas ainda impraticável, dada a quantidade de recursos de hardware e software que precisariam ser utilizados e os custos correspondentes* (Fialho, 1994, p. 338).

Fig. 49: Arquitetura aberta para simulação de entidades autopoieticas



Fonte : Fialho (1994, p. 367).

Um organismo atua dentro de seu meio ambiente executando tarefas que possam ser decompostas em atividades. A regulação de atividades é uma função que tem por objetivo a seleção de tarefas e seu reordenamento no tempo, e consiste em (*ibid.* 339):

- fixar objetivos que constituem tarefas;
- definir prioridades entre estas tarefas;
- conceder recursos para sua realização (tempo a passar, esforço a realizar);
- decidir pelo abandono de uma tarefa.

O controle consiste em utilizar os meios necessários à realização de uma tarefa na monitoração do seu bom desenvolvimento e na avaliação dos resultados.

Freud define um subsistema de processamento primário que, no modelo, cumpre o papel de regulador de todas as tarefas da entidade autopoietica humana, a qual está relacionada à procura do prazer, a partir das estruturas que apresentam a forma (desejos, objetivos que satisfazem esses desejos) e que regulam todo o processo de aquisição de conhecimento. Essas estruturas são construídas pelo mecanismo de equilíbrio de Piaget a partir de estruturas inatas.

O subsistema de processamento secundário regula outros tipos de tarefas submetendo-se, assim, de certa forma, às imposições do regulador primário. O subsistema de processamento secundário é responsável, ainda, pelo controle e execução das tarefas.

O subsistema de processamento secundário domina a capacidade de síntese da motricidade e organiza a simbolização. É ele que processa as informações vindas do universo à sua volta e tenta conciliar os dados do real com os desejos e as restrições do espaço de restrições. De certa forma, funciona como um computador que captura as perturbações originadas pelo mundo exterior e negocia essas necessidades com os desejos expressados pelo Id; processador primário, tentando, ainda, atender aos princípios éticos que ficam registrados no espaço de restrições. A angústia é o estado emocional normal associado ao Ego. É a angústia que o move para a ação.

O espaço de restrições acumula a experiência da entidade em sua ação no mundo, construindo crenças que vão inibir determinados comportamentos. O superego é responsável pela estrutura interna dos valores morais, ou seja, pela interiorização das normas referentes ao que é moralmente proibido e ao que é valorizado e deve ser ativamente buscado. O espaço de restrições é definido como o conjunto de proibições oriundas do superego e da realidade. Essas proibições não são dadas a priori, mas devem ser construídas, ou seja, vão depender da história psicológica da entidade autopoietica que se pretenda modelar.

Para isso, o superego é modelado como um processador associado a uma memória episódica. A cada evento traumático registrado no espaço de restrições se associa uma “*resistência*” que mede a força que mantém esse evento no subconsciente, impedindo-o de se tornar consciente, e uma “*repressão*” que mede a força exercida para contrabalançar aquela exercida pelo trauma para se tornar consciente, ou seja, a força que nega à consciência o acesso à informação traumática.

Em relação à descrição de alguns domínios da arquitetura, o autor diz:

- o domínio cognitivo é o coração de toda arquitetura. Em cada dimensão vai se expressar como sede dos mecanismos de construção, sendo responsável por todas as acomodações a fatos novos, ocorridos dentro e fora do organismo. A riqueza de representações existentes dentro desse

domínio pode ser resumida em Alógrafos, Redes Neurais, Algoritmos Genéticos, Lógicas, Redes Semânticas, Esquemas, *Frames*, *Scripts* e Regras de Produção (*ibid.*, p. 347).

- *o domínio lingüístico é um campo consensual, onde dois organismos acoplados se orientam reciprocamente em suas condutas, que são internamente determinadas por meio de interações que se vão especificando durante suas ontogêneses acopladas (ibid., p. 348).* As representações existentes nesse domínio são similares às que se utilizam em hipermídia, constituídas por sons, imagens, etc. O domínio lingüístico nos seres humanos, por exemplo, corresponde ao mecanismo pelo qual se codifica em palavras um determinado estado interno ou externo. O raciocínio executado por este módulo é aquele denominado de raciocínio episódico, que baseado na memória, não usa regras, mas resolve os problemas pela referência direta à memória.

- *define-se como domínio de observação o domínio das interações recorrentes com seus próprios estados. É, em princípio, infinito, porque não existe nenhum momento em que o sistema não esteja em situação de efetuar tal interação, a menos que perca sua autopoiese (ibid., p. 349).* As representações são continuamente geradas, traduzindo acomodações que são processadas dentro do domínio cognitivo, a cada vez que a nova estrutura é construída e/ou que o sistema especialista produza uma nova descrição, como resposta às diversas perturbações que pode sofrer a entidade autopoietica. Desta forma, a cada nova perturbação, uma representação é acrescentada ao domínio lingüístico, que pode ser conflitante, redundante ou nova. Cabe ao sistema observador analisar o conteúdo do domínio lingüístico e processar os conflitos existentes, passando mensagens ao domínio cognitivo, que se constitui numa espécie de cérebro (banco de dados) dentro da arquitetura e eliminar as redundâncias.

- um sistema vivo capaz de ser um observador pode interagir com seus próprios estados descritivos, que são descrições lingüísticas dele mesmo. Se o faz em forma recursiva, gera um domínio de auto-descrições lingüísticas, onde é observador de si mesmo, de sua observação e de sua auto-observação e assim sucessivamente. *Este domínio é chamado, segundo Maturana e Varela (1972) de auto-observação, e a conduta auto-consciente é a conduta no domínio da auto-observação (Fialho, op. cit., p. 350).*

Finalmente, segundo este autor, a forma de oferecer a um agente cognitivo um meio ambiente rico em conteúdos, seria colocá-lo em contato com o mundo real, ou seja, construir um robot físico com sensores e efetores, capazes de interatuar com o mundo real, programado com o mecanismo de esquemas. Muitos autores rejeitam este tipo de ação, por considerarem que um modelo pode funcionar, tanto em simulação, quanto no mundo real. Entretanto, *uma interação do modelo será melhor em ambientes mais complexos e seria impossível construir no computador um ambiente virtual com a complexidade existente do mundo real (ibid.).*

5.5.4 Equilibração de teorias em agentes autônomos simbólicos

Oliveira (1993) define um conjunto de critérios para a *equilibração de estruturas conceituais* em Sistemas Tutoriais Inteligentes (STI), que operam sobre conjuntos de redes semânticas (com as quais os sistemas representam seus conhecimentos) e permitem ao sistema tutor orientar o procedimento de equilibração das redes semânticas de que se disponha.

Por exemplo, no caso considerado originalmente em Oliveira (*op. cit.*), um sistema dado pode proceder à equilibração entre a rede semântica que representa a teoria do domínio de conhecimento e a rede semântica que representa o modelo de conhecimento do aluno; o efeito dessa equilibração é que o sistema se torna capaz de aprender com o aluno.

A elaboração desses critérios de equilibração foram obtidos a partir de uma modelagem métrica e de topologia de ordem de informação para as redes semânticas. A equilibração de redes semânticas pode ser compreendida então em função de dois critérios:

- um critério quantitativo, capaz de indicar o grau de discrepância entre duas redes dadas;
- um critério qualitativo, capaz de indicar um grau relativo de complementação entre essas duas redes.

Combinando as avaliações quantitativas e qualitativas com operações de transformação de redes semânticas, os processos de equilíbrio de redes semânticas podem ser organizados a partir do meta-nível do sistema, conduzindo-os, assim, através do espaço das teorias com as quais eles lidam.

A modelagem métrica e de topologia de informação elaborada, originalmente neste trabalho, é aplicável às teorias representadas em redes semânticas. O princípio que respalda a utilização desses modelos na organização de processos de assimilação mútua de teorias, no entanto, não está restrito ao caso de conhecimentos representados através daquela forma, e pode ser aplicado sempre que forem obtidas modelagens métricas e de topologia de informações para uma determinada forma de representação de conhecimento. Em particular, ela é aplicável ao caso das teorias clausais.

Esse mecanismo de organização da equilibração de teorias simbólicas pode ter um papel central na definição arquitetônica de sistemas de IA Construtivista, em que se coordenem funcionamentos em níveis sensório-motores e em níveis representativos.

Segundo Costa (1993) o principal problema em aberto a nível epistemológico é explicar uma adequada noção de desenvolvimento e máquina, isto é, de produzir um conceito de máquina que

permita articular de modo sistemático, através da noção de desenvolvimento, os diversos processos e estruturas que hoje em dia se vislumbram – e mesmo se realizam – nos sistemas computacionais.

Segundo o autor (1989), se o que se deseja é uma máquina capaz de lidar com o imprevisto, deve-se conceber uma máquina capaz de adaptar-se. Máquinas programadas não são capazes de realizar adaptação. Elas, de certa forma, são intolerantes a falhas. Para alcançar a adaptação, a máquina deve ser capaz de extrair informações em tempo de execução e modificar seu comportamento para acomodar estas informações, se for necessário. *Uma tal noção permitirá distinguir, suficientemente, nas estruturas e processos realizados por uma máquina, as construções devidas ao projetista e as construções devidas ao próprio funcionamento da máquina, e assim determinar com maior precisão o lugar da noção de inteligência de máquina (ibid.).*

6 ABORDAGEM DE AGENTES PARA AMBIENTES INTELIGENTES DE APRENDIZAGEM

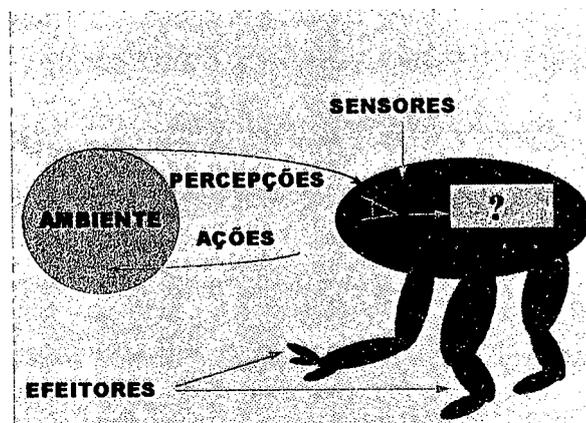
A seguir, será apresentado um estudo sobre agentes inteligentes e alguns conceitos, técnicas e considerações, que auxiliaram na formulação do modelo.

6.1 Agentes autônomos

Considera-se um agente, tudo aquilo que pode perceber seu ambiente mediante sensores e que responde ou atua em tal ambiente por meio de efetores. Os agentes humanos possuem olhos, ouvidos e outros órgãos que lhes servem de sensores, assim como boca, mãos, pernas, e outras partes do corpo que lhes servem de efetores. No caso de agentes robóticos, os sensores são substituídos por câmaras e telêmetros infravermelhos, e os efetores, por motores. No caso de um agente de software, suas percepções e ações são as cadeias de bits codificadas (Russell, Norvig, 1996, p. 33).

Na figura 50, observa-se a figura de um agente genérico.

Fig. 50: Os agentes que interatuam com os ambientes através de sensores e efetores

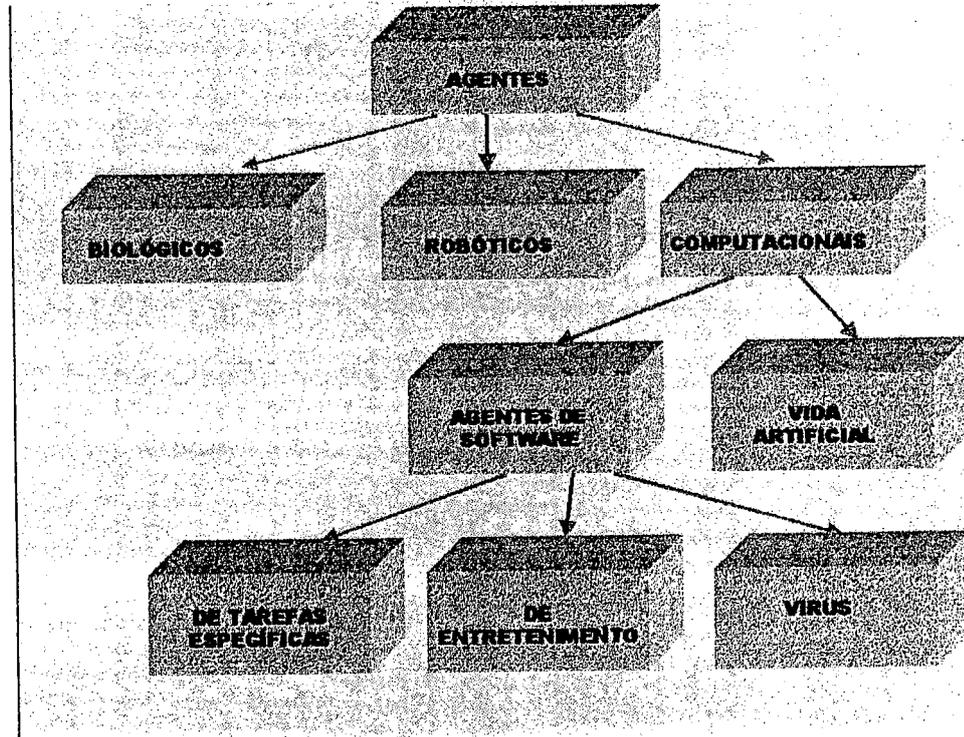


Fonte: Russell e Norvig (1996, p. 33).

Um agente autônomo é um sistema situado no interior de um ambiente que sente e atua sobre o agente durante todo o tempo, em função de sua própria agenda (Franklin, Graesser, 1997).

A figura 51 ilustra o princípio das classes naturais de taxonomia para agentes autônomos.

Fig. 51: Taxonomia para agentes autônomos



Fonte: Franklin (1997, p. 3).

A seguir serão apresentados os conceitos relativos aos agentes inteligentes.

6.1.1 Agentes Inteligentes

Um dos principais objetivos das Ciências da Computação é a construção de “agentes” que mostrem alguns aspectos da inteligência humana. *Uma visão atual, considerada como extrema por muitos pesquisadores de IA, diz que esses agentes podem recriar o comportamento humano inteligente em sua totalidade. A visão mais conservadora sustenta ser capaz de construir agentes que possam exibir alguns aspectos do comportamento humano inteligente.* (Wooldridge, Jennings, 1994, p. 1).

A construção de agentes inteligentes é o mais importante tópico de pesquisa em IA, devido às aplicações potenciais dos mesmos em uma variedade de domínios. Os agentes de *software* são provavelmente a área de produção que mais evoluiu na Tecnologia de Informação (TI). Eles estão sendo usados e agenciados para aplicações diversas, tais como na administração de informação personalizada e de processos comerciais e industriais complexos, na indústria eletrônica, no desenho de interfaces, e nos jogos de computador. Apesar desta proliferação, não existe ainda uma definição comum sobre esses agentes.

Os pesquisadores desta área têm proposto uma variedade de definições com o intuito de explicar o uso da palavra “*agente*”, algumas delas apresentadas a seguir:

- *o agente é usado para representar dois conceitos ortogonais. O primeiro é a habilidade do agente para a execução autônoma. O segundo é a habilidade do agente para executar domínios orientados ao raciocínio (Virdhagriswaran, <http://www.crystaliz.com/logicware/mubot.html>).*

- *agente é qualquer coisa que possa perceber seu ambiente através de sensores e atuar sobre esse ambiente através de efetores (Russel, Norvig, op.cit.).*

- *agentes autônomos são sistemas computacionais que habitam alguns complexos ambientes dinâmicos, sentem e atuam autonomamente neste ambiente, e fazem ou realizam um conjunto de tarefas para os quais eles foram projetados (Maes, 1995).*

- *agente é uma entidade de software persistente dedicada a um propósito específico (Smith, 1994)*

- *são programas de computador que podem simular as funções humanas de fazer alguma coisa que uma pessoa pode fazer para outra (Selker, 1994)*

- *são entidades de software para as quais as tarefas podem ser delegadas (Janca, 1995).*

- *segundo Lux e Steiner (apud Giraffa, 1997, p. 69), um agente é a entidade central da computação, que serve de modelo explícito para todas as entidades que participam em um sistema de cooperação. Aqui estão incluídos à definição de agente, explícita e implicitamente, conceitos e funções de interação, comportamento, cooperação, ações e comunicação. Sob esta visão, o agente é composto com as seguintes partes:*

- *corpo do agente - o componente funcional ou solucionador de tarefas;*

- *cabeça do agente - o controlador de cooperação;*

- *comunicador do agente - as funções de comunicação.*

- *Programas propriamente capazes de controlar suas próprias tomadas de decisão e atos, baseados na sua percepção do ambiente, em busca de um ou mais objetivos (Wooldridge, Jennings, 1995, p. 2).*

Wooldridge e Jennings (1995) dividem as noções de agentes de duas maneiras: as abordagens *weak* e *strong*.

- A noção *weak* é usada para denotar um hardware ou (mais usualmente) um sistema de computação *baseado-em-software*, que mostra as seguintes propriedades: autonomia, habilidade social (com alguma classe de linguagem de comunicação de agente), reatividade e pró-atividade.

- A noção *strong* significa que as propriedades possuídas pelos agentes identificados acima são conceituadas ou implementadas sobre algumas propriedades aplicadas aos humanos, como por exemplo, noções como conhecimento, crença, intenção, obrigação e assim por diante (estados mentais). Vários outros atributos são geralmente discutidos no contexto de agente: mobilidade, veracidade, benevolência e racionalidade.

Ainda segundo Wooldridge e Jennings (1995, p. 4), os agentes possuem as seguintes propriedades:

- ⇒ autonomia : os agentes operam fora da intervenção de humanos ou outros, e tem alguma classe de controle sobre suas ações e estados internos (Castelfranchi *apud* Wooldridge, Jennings *op. cit.*). Os agentes podem atuar com autonomia¹ para realizar um conjunto de ações completamente baseadas na construção de seu conhecimento (ex. eles precisam de atenção para captar a informação do ambiente), ou de acordo com Shoham(*apud* giraffa, 1998, p. 16) os agentes autônomos e *contínuos* funcionam autônoma e continuamente em um ambiente onde o processo acontece;
- ⇒ habilidade social: os agentes interagem com outros agentes (e possivelmente humanos) por alguma classe de *linguagem de comunicação de agentes* (Geneserecth, Ketchel *apud* Wooldridge, Jennings, *op. cit.*);
- ⇒ sensibilidade: os agentes percebem seu ambiente (que pode ser o mundo físico, o usuário via interface gráfica de usuário, uma coleção de outros agentes, a INTERNET, ou também todas essas combinações) e respondem adaptando-se oportunamente às mudanças ocorridas neste ambiente;
- ⇒ pró-atividade: os agentes não devem, simplesmente, responder ao seu ambiente, eles devem ser capazes de exibir comportamento oportuno dirigido a metas e tomar iniciativas apropriadas.

Na literatura de IA, outros autores mencionam diferentes propriedades desejáveis para propriedades de agentes:

- os agentes podem ser *temporais*, por ex., trabalham quando for necessário;

¹ Autonomia significa que um agente realiza atividades que não requerem um guia constante ou intervenção humana; é a única propriedade aceita uniformemente pelos que trabalham na área, embora não exista ainda um termo que a defina com precisão.

- os agentes podem ser *subservientes*, por ex., podem atuar sobre o comando de algum outro. Este é o sentido original do termo em IA, onde um agente pode executar outras instruções explícitas (Shoham *apud* Giraffa, 1998, p. 16);

- os agentes são entidades de software *persistentes* (eles trabalham todo o tempo durante a execução e possuem muitas funções) dedicados a um propósito específico (por isso eles são distintos das sub-rotinas), (Smith, Cypher *apud* *ibid.*);

- eles têm muitas funções, mas três são essenciais: *percepção das condições dinâmicas da ação do ambiente que afeta essas condições, raciocínio para interpretar percepções e resolução de problemas, projeto de inferências e ações determinadas* (Hayes-Roth *apud* *ibid.*); os agentes:

- podem ter *habilidade social* pela via de alguma classe de linguagem de comunicação de agentes;

- podem ter alguma classe de *reatividade*;

- podem ser *racionais* – um agente racional deverá empreender todas aquelas ações que favoreçam obter o máximo da sua medida de performance², baseando-se nas evidências mostradas pela seqüência de percepções e em todo o conhecimento incorporado em tal agente (Russell, Norvig, *op. cit.*, p. 34).

- podem *aprender* do ambiente, por observação, etc.

- possuem *mobilidade* para ir a diferentes lugares físicos;

- podem ser *flexíveis* e aceitar outras intervenções de agentes;

- podem ter *caracteres*, i.e., possuem uma personalidade implícita baseada nos estados mentais;

- *possuem estados internos* que se relacionam com o estado do ambiente com o qual interagem, por ex., personalidade implícita baseada em estados mentais.

Algumas vezes, o termo agente de *alto-nível* é usado para distinguir agentes de outros componentes de *hardware* e *software*. Este alto-nível está presente em representações simbólicas e/ou funções cognitivas, tais como capacidade de planejamento, habilidades de processamento de linguagem natural e assim por diante (Shoham *apud* *ibid.*).

² Medição da *performance* ou *desempenho* de um agente é: o critério que serve para decidir como e quando avaliar esse bom desempenho do agente.

Em geral, a arquitetura de um agente põe ao alcance dos programas as percepções obtidas mediante os sensores, para executá-los e alimentar o efetor com as ações elegidas pelo programa, conforme estas vão se gerando. A relação entre agentes, arquitetura e programas poderia resumir-se da seguinte maneira (*ibid.*, p. 38):

Agente = arquitetura + programa

Antes de realizar o projeto de programas de agente, é necessário ter uma idéia bastante precisa das possíveis percepções e ações que intervenham em sua existência, das metas ou medidas de performance a serem, supostamente, levadas a cabo, assim como do tipo de ambiente onde tal agente operará.

Na construção de agentes inteligentes, o esqueleto de todos eles será o mesmo, isto é, deve-se considerar a capacidade de percepção dos estímulos de um ambiente e de geração das respectivas ações. Em relação ao esqueleto, é necessário comentar (*ibid.*, p. 40):

- primeiro: se bem foi definido o mapeamento de um agente, como uma função para passar de seqüências de percepções a ações, o programa do agente recebe como entrada somente uma percepção. É decisão do agente construir a seqüência de percepções na memória. Alguns ambientes permitem funcionar, perfeitamente, sem necessidade de armanezar a seqüência de percepções; em alguns complexos domínios não é possível o armanezamento da totalidade da seqüência;
- segundo: a meta ou a avaliação da performance não forma parte do programa esqueleto. A razão é que a avaliação do desempenho efetua-se de fora, a fim de avaliar a conduta do agente; é freqüente que se obtenha uma alta performance, sem contar com um conhecimento explícito da avaliação do desempenho (por ex.: o agente de raiz quadrada).

A construção de um programa real para implantação do mapeamento que permita passar de percepções a ações, considera quatro tipos de programas, a saber (*ibid.*, p. 42):

- agentes de reflexo simples;
- agentes bem informados de tudo o que se passa;
- agentes baseados em metas;
- agentes baseados em utilidade.

Nos diversos tipos de agentes e de ambientes, a relação existente entre eles é sempre a mesma: o agente atua sobre o próprio ambiente, que, por sua vez, fornece percepções ao agente. O

ambiente é caracterizado por tudo que envolve o agente, podendo, também ser modelado como um agente. Verifica-se, ainda, que o ambiente é constituído pela dispersão do controle, dos dados e do conhecimento na comunidade de agentes.

O “*mundo*” pode ser definido como a descrição completa e instantânea do ambiente no qual o agente se encontra.

Os ambientes são de diferentes tipos. As diferenças básicas são as seguintes (*ibid.*, p. 48):

- acessíveis e não acessíveis: quando o aparelho sensorial de um agente lhe permite ter acesso ao estado total de um ambiente, diz-se que os sensores detectam todos os aspectos relevantes à escolha de uma ação. Nestes ambientes não é necessário que o agente mantenha um estado interno para estar informado do que acontece no mundo;
- deterministas e não deterministas: se o estado seguinte de um ambiente é completamente determinado mediante o estado atual e das ações escolhidas pelos agentes, diz-se que os estados são deterministas;
- episódicos e não episódicos: em um ambiente episódico, a experiência do agente se divide em “*episódios*”. Cada episódio consta de um agente que percebe e atua;
- estáticos e dinâmicos: se existe a possibilidade de que o ambiente sofra modificações enquanto o agente se encontre deliberando, diz-se que tal ambiente se comporta de forma dinâmica em relação ao agente; do contrário, diz-se que é estático;
- discretos e contínuos: se existe uma quantidade limitada de percepções e ações distintas e claramente discerníveis, diz-se que o ambiente é discreto.

Para os distintos tipos de ambientes são necessários programas de agentes relativamente diferentes para trabalhar de maneira eficiente. Como se pode esperar, o caso mais difícil se caracteriza por ser inacessível, não episódico, dinâmico e contínuo. Devido ao fato de a maioria das situações reais serem muito complexas, fica difícil decidir sobre o determinismo de alguns ambientes; para efeitos práticos, considerar-se-á como não deterministas.

O agente possui estados internos relacionados com o estado do ambiente com que interage. Esses estados mentais devem corresponder aos estados mentais humanos, mas essa correspondência não precisa ser exata.

Os estados mentais humanos são vinculados com o mundo, sobre o qual estabelecem a sua existência e a sua significância. Essa característica, segundo a qual os estados mentais humanos “*são acerca de*”, “*referem-se a objetos ou situações do mundo*”, ou “*se dirigem a*”, é chamada de intencionalidade, como por ex., crenças, desejos, expectativas e intenções.

A visão informal de Shoham (*apud* Giraffa, 1997, p. 70) sobre o mundo, para aplicação da “*programação orientada para agentes*”, incorpora os seguintes aspectos:

- a todo instante, o futuro é determinado por dois fatores: o passado histórico e as ações atuais do agentes;
- as ações de um agente são determinadas, ou pelas suas *decisões*, ou por suas *escolhas*, portanto, os fatos são verdadeiros; ou por razões naturais, ou por decisão dos agentes;
- as decisões são logicamente restritas pelas *crenças* do agente, as quais se referem ao estado do mundo (ao passado, presente ou futuro), ao estado mental de outros agentes e às suas *capacidades* e às dos outros agentes. Por exemplo, se um robô acredita que não é capaz de passar por uma porta estreita, ele decide não passar por ela;
- as decisões também são restritas por decisões prévias: um robô não pode decidir estar na sala 5 (cinco) em alguns minutos, se ele já decidiu estar na sala 3, no mesmo momento.

Essas perspectivas motivaram Shoham a introduzir dois estados mentais básicos³: *crença* e *decisão* (ou escolha) e um terceiro estado, *capacidade*, que não é um construtor mental por si (i.e., não define atributos do estado mental de um agente). Na descrição do paradigma de programação orientada a agentes, esse autor utiliza *tempo*, *ação*, e adota *crença* e *capacidade* como estados mentais básicos e, através da introdução da noção de *comprometimento* (ou *obrigação*), trata a *decisão* como uma *obrigação* imposta pelo agente a si mesmo.

Por outro lado, Corrêa (*apud ibid.*, p. 70) propõe uma arquitetura de diálogos entre agentes cognitivos distribuídos, denominada SEM - *Sociedade dos Estados Mentais*, formada apenas pelos estados mentais *crença*, *desejo*, *intenção* e *expectativa*.

A análise dos estados mentais propostos pelos autores Shoham e Corrêa pode ser encontrada em Giraffa (1997, p. 71).

A seguir serão abordados os agentes nas aplicações educacionais.

6.1.2 Agentes pedagógicos

No caso particular dos desenvolvimentos de STI e ILE, os agentes também são considerados como agentes pedagógicos. O termo agente pedagógico é usado para denominar os *agentes que são projetados para suportar aprendizagem humana, interagindo com os estudantes a fim de facilitar a aprendizagem* (Johnson, 1998). Embora os agentes pedagógicos tenham sido construídos

³ Shoham reconhece que, utilizando apenas esses estados mentais, exclui a representação de *motivação* e não assume que os agentes sejam racionais, mas que suas crenças, obrigações e capacidades são interna e mutuamente consistentes, embora esteja convencido de que no futuro deverá considerar noções mais fortes de racionalidade.

baseados nas pesquisas prévias dos STIs, eles trazem uma nova perspectiva para facilitar a aprendizagem *on-line* e discutem assuntos que os STIs anteriores ignoraram por muito tempo. Os agentes pedagógicos podem adaptar suas interações instrucionais às necessidades dos estudantes e ao estado atual do ambiente de aprendizagem, ajudando os estudantes na superação de suas dificuldades e no aproveitamento das oportunidades de aprendizagem. Eles podem colaborar com os estudantes e com outros agentes, integrando ação com instrução; contrastando com os STIs típicos que somente se comunicam com um deles e são capazes de interagir apenas com um estudante. São capazes também de fornecer *feedback* contínuo aos estudantes durante seu trabalho. Finalmente, eles podem aparentar caracteres naturais para os estudantes, e induzi-los às mesmas classes de respostas afetivas que outras classes de caracteres naturais geram. *Os bons professores são bons motivadores. A motivação é um ingrediente chave na aprendizagem, e as emoções desempenham um papel importante na motivação. Portanto, acredita-se que os agentes pedagógicos são professores mais efetivos se demonstrarem e compreenderem emoções*⁴ (Elliot, Rickel, Lester, 1997).

Os pesquisadores estão vendo com muita expectativa a capacidade de os agentes pedagógicos animados gerarem respostas emotivas na interação com os estudantes. Comportamentos emotivos, tais como expressões faciais e linguagem corporal podem chamar a atenção, motivar e aliviar a frustração do estudante com a “empatia” do agente. Um amplo repertório de comportamentos emotivos foram construídos em *Cosmo*, os quais são combinados com declarações e outros tipos de posturas não verbais, na geração das explicações (Townes, FittzGerald, Lester *apud* Lewis, 1998). Comportamentos, tais como aplausos são usados em conjunção com *speech acts* congratulatórios; movimentos de cabeça ou encolhimento de ombros são usados quando *Cosmo* toma uma expressão retórica. *Adele* (Johnson, 1998) emprega expressões faciais emotivas, mostrando satisfação quando o estudante responde corretamente uma questão; agitação se surge uma situação no ambiente de aprendizagem que requeira a imediata atenção do estudante (ex. se o paciente apresenta dificuldades para respirar), e desconforto se o estudante comete um erro que deve saber como evitar.

Os agentes pedagógicos possuem um conjunto normativo de metas de ensino, planos para a execução dessas metas (ex. estratégias de ensino), e recursos associados nos ambientes de aprendizagem (Thalmann, Noser, Huang, *apud* Giraffa, 1998, p. 16).

⁴ Isto pode facilitar a aprendizagem de várias formas, a saber (Elliot, Rickel, Lester, 1997):

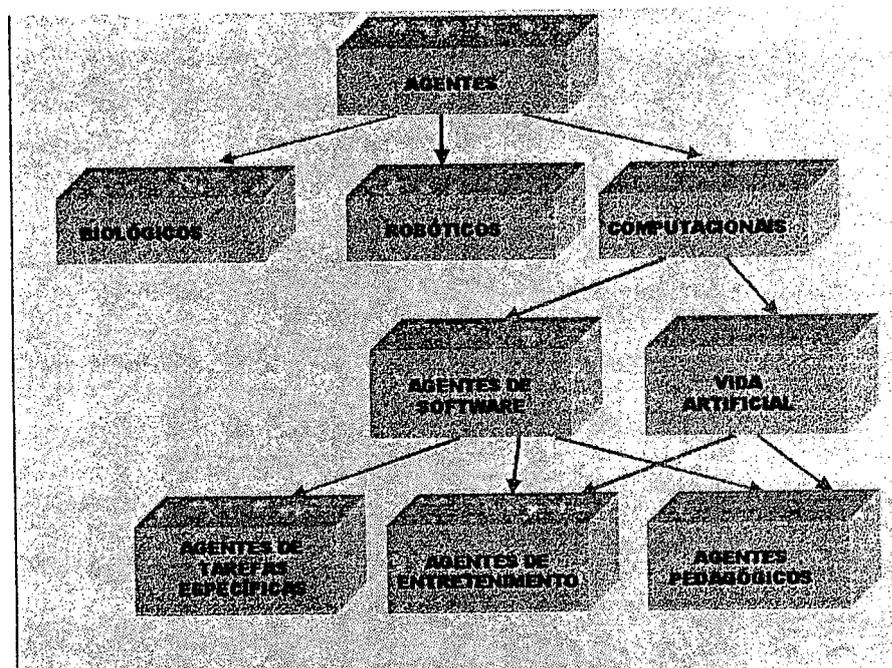
- o agente pedagógico pode mostrar preocupação a respeito do estudante e seus progressos;
- pode ser sensível às emoções dos estudantes;
- deve comunicar entusiasmo pelo tema da matéria tratada, em função de fomentar entusiasmo semelhante nos estudantes;
- um agente pedagógico com uma rica e interessante personalidade pode fazer o ensino mais simples e divertido.

A figura 52 mostra o esquema gráfico proposto por Giraffa (1998a, p. 3), para classificar a noção de *Agentes Pedagógicos*, que foi incorporada por muitos sistemas para propósitos educacionais. Esses agentes pedagógicos incorporam múltiplas características dos Agentes de Entretenimento e alguns deles estão no campo da Vida Artificial.

Em função de facilitar a distribuição de tarefas pedagógicas no contexto das sessões de tutoria, o conceito de sistema-multi-agente foi adaptado aos STI, dando a idéia de uma abordagem *baseada-em-agentes* para representar o conhecimento pedagógico e seu uso no contexto do ensino.

A razão fundamental para introduzir agentes como elementos de tutoria de conhecimentos é sua capacidade de comunicação e interação (os agentes podem adaptar-se, aprender durante a sessão instrucional). Essas características são fundamentais para que os agentes sobrevivam num ambiente educacional.

Fig. 52: Taxonomia de Agentes pedagógicos.



Fonte: Giraffa (1998, p. 17).

De acordo com Vassileva (*apud* Giraffa, 1998a, p. 39), um agente deve atuar num mundo povoado por outros agentes, pois muitas metas dos agentes requerem a ajuda de outros agentes. Desta forma, as relações entre agentes podem ser vistas como outra classe de recursos para atingir metas.

Os agentes pedagógicos podem ser divididos em *goal driven* (tutor, mentor, assistente) e

utility driven (agentes MOO⁵ e Web). O quadro 11 mostra as características pedagógicas dos agentes *goal driven*.

Os *driven agents* são usados para propósitos pedagógicos, tais como agentes *labour*, que são usados, por ex., para ajudar aos estudantes a encontrarem coisas (software específico, diretórios de arquivos, agendas de encontros de grupos, lembrança de datas de tarefas para casa, etc.). Os agentes MOO possuem uma boa flexibilidade e uma abordagem textual (mesmo contexto). Os agentes baseados em Webs possuem mobilidade e operam em diferentes contextos (Textual, hiperímia e RV, por exemplo). Neste paradigma, a interação ocorre baseada em processos cooperativos ou competitivos, através dos quais humanos e agentes comunicam-se e executam atividades.

Os agentes *goal-based* realizam suas ações (para atingir suas metas) baseados na informação descrita para situações desejáveis.

Desse modo, os agentes pedagógicos podem atuar como tutores, estudantes, aprendizes, e companheiros virtuais, que ajudam os estudantes no processo de aprendizagem. O agente pode ter um “caráter” ao qual podem ser atribuídos estados mentais.

Quadro 11: Características pedagógicas dos *driven agents*.

	Tutor	Mentor	Assistente
Conhecimento a respeito do ambiente	F	F	M
Domínio especialista	F	F	M
Modelo do estudante	F	M	W a Zero
Aspectos pedagógicos	F	M	W a Zero

Fonte: Giraffa (1998, p. 18).

Obs.: F: forte, M : médio, W: fraco

Os agentes pedagógicos possuem algumas propriedades fundamentais: *autonomia* (realiza um conjunto de metas), *habilidade social*, *pró-atividade e persistência*. Alguns deles podem ser reativos, de execução contínua, capazes de aprender e representar mais de um caráter (Giraffa, 1998a, p. 3).

Esta classificação surge de um análise detalhada, realizada por Giraffa (1998a, p. 4), baseada nos STI projetados com abordagens de agentes. Esta análise está resumida no quadro 12, onde as propriedades dos sistemas baseados em agentes foram unidas e comparadas. Segundo a autora, os

⁵ MOO é um ambiente virtual em rede onde as pessoas podem conhecer-se e comunicar-se.

propósitos educacionais de todos esses ambientes foram analisados para identificar os três papéis exercidos pelos agentes pedagógicos *driven goal*.

Quadro 12: Propriedades de Agentes x propósitos educacionais.

Propriedades De agentes \ Propósito Educacional	Tutor	Mentor	Assistente
Autonomia	1,2,5,6,8,10,11,13,14,15,16	3, 7	4, 9
Habilidade	1,2,5,6,8,10,11,12,13,14,15,16	3, 7	4, 9
Pró-atividade	1,2,3,4,5,6,8,10,11,12,13,14,15,16	3, 7	9
Reativo	1,2,5,6,7,8,10,14,16	3	4, 9
Persistente ou Contínuo	1,5,6,8,10,11,12,13,14,15,16	3, 7	4, 9
Temporal	2		
Caráter	1,7,5,6,10,12,14,15,16		9
Aprendizagem	5		
Flexibilidade	5, 10,16		

Fonte: Giraffa (1998a, p. 4).

Os números da tabela 2 referem-se a:

1. Persona - STI para instruir o usuário a usar um modem (Andre, Muller, Rist, 1997).
2. STI - sociedade para ensino de assuntos específicos (Costa, Perkusich, 1997).
3. STI – para ensino de conceitos de música (Cook, 1997).
4. Assistant - STI para auxiliar os estudantes (Dillenbourg, Jermann, Schneider, Traum, Buiu, 1997).
5. STI – para ensino de conceitos de radiologia em medicina (Franklin, Graesser).
6. ADELE – Tutor pessoal para cada estudante na WEB (Lewis, Shaw, 1997).
7. STI – para ensino de Biologia a crianças (Lester, J. et. al., 1997).
8. STI – para ensino de alguns conceitos de Matemática (Morin, Lelouche, 1997).
9. STI – para selecionar as preferências dos estudantes (Murray, 1997).
10. STEVE - STI para ensino de alguns recursos de laboratório (Rickel, Johnson, 1997).
11. STI - para ensino de conceitos de Matemática (Ritter, 1997).
12. EduAgents - agentes que podem ajudar (ensinar) os estudantes a resolver problemas de equações elementares (Hietala, Niemirepo, 1997).
13. Ambiente de Cooperação com agentes para ajudar os estudantes na aprendizagem sobre tecnologia (Leroux, 1996).
14. Multi-Ecological - ILE para aprendizagem dos estudantes sobre conceitos de poluição (Giraffa, Nunes, Viccari, 1997).
15. Eletro-Tutor - STI para ensino de alguns conceitos sobre eletricidade (Silveira, Viccari, 1998).
16. MCOE-System – STI para que os estudantes aprendam conceitos a respeito da Ecologia e da Poluição (Giraffa, Nunes, Viccari, 1997a).

Obs.: 4 é um sistema MOO, 5 e 15 são sistemas Web, 16 é um STI, onde as interações entre estudantes e sistema são executadas de maneira semelhante aos jogos, com recursos de multimídia. A característica do *Ecologist* é representar um tutor através do uso de múltiplas estratégias de ensino para aconselhar os estudantes; pode atuar como tutor, mentor ou assistente (Giraffa, Viccari, Self, 1998).

Alguns experimentos com RV estão acrescentando novas possibilidades de investigação sobre a interação entre o estudante e o ambiente de aprendizagem (Rickel, Johnson, (1997), Silveira, Viccari, (1998)).

O propósito educacional dos agentes *utility-based* (MOO e Web) é trabalhar como tutores. Isto é possível porque suas estratégias enfocam o ensino de habilidades específicas através de abordagens diretas, como ocorre em 4, 5 e 15 do quadro 12.

No conceito de agentes “*Soar*” (Rosenbloom *apud* Mankin, 1997), pode-se incorporar a capacidade de trabalho em equipe. Johnson (*apud ibid.*) afirma estar trabalhando na criação de um agente pedagógico que incorporará o conceito “*Soar*” num “*corpo humano virtual*”, que atuará como um professor programado capaz de treinar humanos num mundo virtual. O fato de possuir a característica de usar recursos de RV, não envolve muita diferença na classificação de um agente pedagógico. A diferença radica no propósito (implícito quando se projeta um agente), que pode ser: *goal driven* ou *utility based*. Agentes como ADELE (*Agent for Distance Learning – Light Edition*), (Johnson, 1998), STEVE (*Soar Training Expert for Virtual Environments*) e HERMAN (Elliot, Rickel, Lester, 1997) trabalham como tutores, apesar da aparência não típica.

6.2 STI com arquitetura de agentes

Segundo Damico, Viccari e Toscani (*apud* Giraffa, 1997, p. 82), as limitações do estilo “*paternalista*” da ação tutorial, encontradas nas implementações de STI que utilizam o modelo tradicional, se devem ao fato das interações serem prerrogativas do sistema. Tais limitações têm impulsionado a pesquisa na busca de ambiente mais cooperativos, onde a iniciativa da ação pode mudar de forma dinâmica, entre o estudante e o sistema. Nos últimos anos, alguns projetos de STIs objetivam ajustar-se às necessidades de cada aprendiz, com o fim de melhorar a performance da aprendizagem. Os tutores são projetados também para fazer parte de um sistema cooperativo.

A modelagem de STI numa arquitetura funcional de agentes é mais do que uma abordagem geral, pois, teoricamente, não existe um limite para o número de agentes que podem participar do processo de aquisição do conhecimento, ocorrido através da negociação dos papéis dos agentes tutores e aprendizes.

As propostas de utilização de arquiteturas MAS em STI trazem uma grande vantagem em relação às arquiteturas tradicionais de STI, uma vez que permitem uma flexibilidade maior no tratamento dos elementos que compõem o sistema (Gagné, Trudel, *apud* Giraffa, 1997, p. 82) e, devido ao fato de serem usados agentes para modelar os seus componentes, permitindo tratar os elementos da arquitetura tradicional de forma agrupada (um módulo = um agente) ou explodir cada módulo até uma

situação como a proposta por Moussale, Viccari e Corrêa (*apud* Giraffa, 1996, p. 86), onde o refinamento chega até os estados mentais de um agente.

Para ampliar a pesquisa dos STI em arquitetura MAS, vê-se a seguir alguns ambientes recentemente citados, em função de suas características e de suas possíveis contribuições para o modelo proposto mais adiante.

6.2.1 Abordagem de STI, como uma sociedade de agentes

Wang e Chan (1997) afirmam que os sistemas de aprendizagem social são ambientes de aprendizagem emergentes que permitem a estudantes e agentes trabalharem em um ou em vários computadores conectados em ambiente de rede.

Desenvolvimentos recentes em STI consideram uma abordagem cooperativa entre o aprendiz e o sistema. Muitos grupos de pesquisa criaram a simulação *environment-using*, onde o processo de ensino-aprendizagem é simulado por um conjunto de agentes, visando uma interação entre eles para permitir a observação de mudanças dinâmicas ocorridas durante o processo de interação. Moussale, Viccari e Corrêa (*apud* Giraffa, 1998, p. 20) apresentam um exemplo, onde todos os agentes podem ser abertos⁶ para mudar estratégias e crenças/conhecimentos sobre resolução de problemas. Outro exemplo é a simulação criada por Frasson, Mengelle e Aimeur (1997), onde dois agentes são simulados no computador: *um tutor e um troublemaker* (Aimeur, Frasson, 1996, p. 115).

De acordo com Oliveira e Viccari (1996), *se o ensino é considerado uma atividade de resolução de problemas, então a principal contribuição da Inteligência Artificial Distribuída – IAD – é a possibilidade aperfeiçoar a performance de resolução de problemas do sistema*. Tal otimização é possível se a tarefa pode ser dividida em sub-tarefas com algum grau de localização e paralelismo. De fato, existem muitos trabalhos apresentados na literatura mostrando que tal divisão é possível. Essa é a chamada perspectiva distribuída para implementar ambientes de aprendizagem baseados em IAD. Usualmente, as arquiteturas desenvolvidas com esta abordagem são variações da arquitetura funcional tradicional dos STI⁷, onde cada função é implementada por um ou mais agentes especializados. Desde que cada agente tenha uma função bem definida, seu papel dentro do sistema não muda, ou seja, a organização do sistema é fixa. Essas características são baseadas em sistemas de Resolução de Problemas Distribuídos (*Distributed Problem Solving – DPS*)⁸. A totalidade de planos de ensino é gerada pela

⁶ Eles devem mudar estratégias e conhecimentos.

⁷ Modelo de domínio, modelo de estudante e modelo de professor.

⁸ Usualmente denominados agentes.

combinação de contribuições de diferentes agentes. O controle é distribuído em função da geração do plano, não da sua execução.

Cada agente pode estar ou não subdividido em agentes internos (subagentes, agentes locais): se este for o caso, pode-se falar de *sociedade externa* e de *sociedade interna* (Giraffa, 1998, p. 21).

Tal visão acrescenta o número de questões teóricas e práticas e muda a discussão em relação a tópicos, tais como aprendizagem cooperativa, aplicação das teorias de Vigotsky, Piaget e outros. O comportamento de cada agente também pode afetar o comportamento da sociedade como um todo e vice-versa, como por ex., a capacidade de aprendizagem veloz e/ou limitada de um membro pode exercer algum efeito no ritmo do aprendizado envolvidos. Tais diferenças cognitivas estabelecem a necessidade de prever a demanda apropriada de informações e/ou operações. Esta necessidade pode ter impacto na arquitetura e/ou no comportamento dos agentes e da sociedade externa.

Para Oliveira e Viccari (1996) é importante indicar que as duas perspectivas discutidas aqui não são mutuamente exclusivas. Na perspectiva social considera-se que o sistema computacional esteja embutido na sociedade externa, composta de múltiplos agentes humanos/artificiais. A perspectiva distribuída preocupa-se com a organização interna do sistema.

Os ambientes sociais significam trabalho colaborativo. Mitsuru (1997) diz: *uma das principais significações educacionais do aprendizado colaborativo é melhorar a motivação dos participantes, despertando reflexões maduras na sua própria compreensão e externalização deste resultado.* Cook (1997) diz: *que a aprendizagem colaborativa não é sempre efetiva.* Assim, a análise dos dados do diálogo tem o propósito de revelar a correlação entre as metas e as intenções dos professores, as intervenções e tentativas dos estudantes para a reflexão criativa.

De qualquer forma, faz-se distinção entre aprendizagem colaborativa e cooperativa. Para Giraffa (1998, p. 22), na aprendizagem cooperativa dois ou mais estudantes possuem as mesmas tarefas, que podem estar divididas em sub-tarefas, e cada um realiza parte delas, não podendo, entretanto interferir nos trabalhos dos outros. A solução final é o conjunto de trabalhos individuais. Na aprendizagem colaborativa, por outro lado, cada estudante possui uma tarefa semelhante e uma solução final realizada por todos. Cada estudante pode sugerir seu/sua própria solução e o grupo discutir a seu respeito. A solução final emerge, assim, do grupo de trabalho interativo. Ambas as situações adotam a perspectiva social.

Um exemplo de uma arquitetura funcional de agentes com perspectiva distribuída proposta por Oliveira (1996, p. 3), é apresentada a seguir: esta sociedade é formada por vários agentes

estudante/tutor e também por agentes com funções sumarizadas nos quadros 13 e 14. Este é um exemplo de uma sociedade funcional organizada (Oliveira, Brachman, *apud* Oliveira, 1996) em um ambiente de ensino aprendizagem, conforme a fig. 53.

Fig. 53: Um agente tutor distribuído.



Fonte: Oliveira (1996, p. 3).

Os agentes desta sociedade estão envolvidos em dois processos básicos de ensino-aprendizagem - quadros 13 e 14. Esta arquitetura é um exemplo típico da perspectiva distribuída, onde os subprocessos funcionais da atividade de ensino-aprendizagem são atribuídos a agentes específicos, denominados de agentes *world-state*, adaptados à perspectiva social, cuja função é monitorar os vários estudantes/tutores na sociedade e comunicar o resultado aos outros agentes da sociedade interna.

O agente de comunicação permite cooperação efetiva e trabalha com a troca de mensagens entre agentes na sociedade e, portanto, está envolvido nos processos de ensino-aprendizagem.

Cada agente é identificado da seguinte forma: W_A - conjunto de possíveis estados do mundo para A; A_c - conjunto de possíveis ações para A; G_A, W_A, G_A - conjunto de possíveis planos para

metas específicas de agentes g. Essas funções operam sobre o conjunto de agentes e são usadas para controlar o ciclo de suas execuções básicas, composto por: ativação da meta, planejamento, sincronização temporal e execução-avaliação.

A seguir serão exploradas algumas arquiteturas sob uma perspectiva social.

Quadro 13: Processo de ensino.

Processo de ensino
<p>Agente tutor: armazena o domínio de conhecimento, por ex., o material instrucional, que pode cumprir o papel de um estudante ao encarar a especialista de nível. Tópicos de seleção de agentes: explora o material instrucional para definir o tópico seguinte. A velocidade e a ordem de aplicação do material dependem da performance e do interesse do agente estudante.</p>
<p>Provedor de prática: seleciona exercícios e exemplos adaptáveis às necessidades do agente estudante e se comunica com os agentes: tópicos de seleção, estudante, performance, estratégia e agente de diagnóstico.</p>
<p>Agente de motivação: motiva o estudante a aprender pela seleção de tipos de apresentação, de acordo com as preferências do estudante. Por exemplo, no ensino da matemática, pode-se fazer isto com o uso fórmulas, conceitos e/ou figuras, de acordo com a estratégia selecionada.</p>

Fonte: Oliveira (1996, p. 3).

Quadro 14: Processo de aprendizado

Processo de aprendizado
<p>Agente estudante: armazena o modelo de estudante, por ex., informações sobre o comportamento do estudante de acordo a necessidade de outros agentes. Possui iniciativa comunicativa somente se o estudante desejar a mudança da forma de instrução conduzida.</p>
<p>Agente de navegação: controla o tempo em que o estudante navega no material de forma não-linear (hipertexto/hipermídia). Esta navegação ocorre pela resposta do agente estudante.</p>
<p>Agente de performance: verifica a história do agente estudante, analisando seu conhecimento atual e sua performance.</p>

Fonte: Oliveira (1996, p. 4).

6.2.2 Arquitetura SEM

A Sociedade de Estados Mentais - SEM - (Correa, *apud* Giraffa, 1997, p. 88) é uma arquitetura genérica de agente cognitivo, deliberativo e autônomo, cuja característica fundamental é que a especificação de agentes é feita através dos estados mentais, tais como crença, desejo, intenção e expectativa, onde a compreensão de cada agente é obtida através da determinação destes estados mentais. A teoria de comportamento de agentes é baseada no fato de que objetos de programação fazem os estados específicos mentais do agente. A forma como a especificação da arquitetura dos agentes é tratada aqui, difere de outras abordagens, nas quais são especificadaa de acordo com os módulos funcionais.

Outra característica da arquitetura SEM é que a definição dos estados mentais dos agentes é sustentada de acordo com a teoria de situações desenvolvida em Barwise e Delvin (*apud* Oliveira, 1996). Corrêa usa o simbolismo desta teoria para agentes inteligentes artificiais. O comportamento desses agentes é representado pela ação, através da qual os agentes interagem entre si e com o mundo, como resultado da relação causal entre esses estados mentais, tal como na arquitetura de Kernel (Corrêa *apud*, 1997), feita sobre quatro agentes locais autônomos: crença, desejo, intenção e expectativa; correspondentes aos estados mentais: crer, desejar, intencionar e esperar, respectivamente. Esses agentes locais interagem entre si através de mensagens. Cada um deles possui funções específicas, resultantes de definições, propriedades e relações entre os estados mentais (crença, desejo, intenção, expectativa), conforme descritos a seguir (Giraffa, 1997, p. 89):

- *agente local crença* (age como supervisor das crenças) e tem a função de: criar, alterar, inferir, e deduzir crenças, construir estratégias e planos e fazer tudo o que disser respeito ao raciocínio do agente. A arquitetura do agente local crença também é uma 8-tupla análoga ao agente global.

Uma crença é uma situação definida por:

$C_{T/A} \models \{ \langle \langle bel, A_{T1A}, P, v \rangle \rangle \}$ sendo:

$C_T \rightarrow$ crença do tutor;

$C_A \rightarrow$ crença do aluno;

$bel \rightarrow$ relação crença;

$A_T \rightarrow$ agente tutor;

$A_A \rightarrow$ agente aluno;

$P \rightarrow$ uma proposição

$v \rightarrow 1$, se o agente A acredita que a proposição P ocorre no mundo;
0, caso contrário.

- *agente local desejo* (supervisiona os desejos): criando, alterando, atribuindo crenças ou alterando os valores de urgência, intensidade e insistência dos desejos; produzindo intenções a partir de

desejos e verificando se os desejos estão ou não sendo satisfeitos. A arquitetura do agente local desejo também é uma 8-tupla análoga ao agente global. Um desejo é uma situação definida por:

$$D_{T/A} \models \{ \langle \langle \text{des}, A_{T/A}, P, \xi, T, v \rangle \rangle \} \text{ sendo:}$$

$D_T \rightarrow$ desejo do tutor;
 $D_A \rightarrow$ desejo do aluno; $\text{des} \rightarrow$ relação desejo
 $A_T \rightarrow$ agente tutor;
 $A_A \rightarrow$ agente aluno;
 $P \rightarrow$ uma proposição
 $\xi \models \langle \langle \text{satisfação}, n_s, X, 1 \rangle \rangle \wedge \langle \langle \text{urgência}, r_3, X, 1 \rangle \rangle$ sendo
 $n_s \rightarrow$ parâmetro ancorado no conjunto $\{ds, dns\}$ de modo que, num momento $f(t) = t$, $f_s(n_s) = ds$, quando o desejo estiver satisfeito e $f_s(n_s) = dns$, caso contrário;
 $X, r_3 \rightarrow$ parâmetros ancorados no conjunto dos números reais;
 $T \rightarrow$ localização temporal associada à ocorrência do desejo;
 $v \rightarrow 1$, se ocorre o desejo ao agente A; 0, se não ocorre o desejo ao agente A]

• *agente local intenção* (supervisiona as intenções): selecionando as intenções a serem satisfeitas num determinado momento; realizando as intenções do agente, ou seja, escolhendo e executando as ações apropriadas para a realização de determinada intenção; interrompendo ou cancelando a realização de alguma intenção; atribuindo ou alterando os valores de urgência, intensidade e insistência das intenções e produzindo intenções, desejos, crenças e expectativas. A arquitetura do agente local intenção também é uma 8-tupla análoga ao agente global. Uma intenção é uma situação definida por:

$$I_{T/A} \models \{ \langle \langle \text{In}, A_{T/A}, P, \xi, K, T, v \rangle \rangle \} \text{ sendo:}$$

$I_T \rightarrow$ intenção do tutor;
 $I_A \rightarrow$ intenção do aluno; $\text{in} \rightarrow$ relação intenção
 $A_T \rightarrow$ agente tutor;
 $A_A \rightarrow$ agente aluno;
 $P \rightarrow$ uma proposição
 $\xi \models \langle \langle \text{satisfação}, n_s, X, 1 \rangle \rangle \wedge \langle \langle \text{urgência}, r_3, X, 1 \rangle \rangle$ sendo
 $n_s \rightarrow$ parâmetro ancorado no conjunto $\{is, ins\}$ de modo que, num momento $f(t) = t$, $f_s(n_s) = is$, quando a intenção estiver satisfeita e $f_s(n_s) = ins$, caso contrário;
 $X, r_3 \rightarrow$ parâmetros ancorados no conjunto dos números reais;
 $K \rightarrow$ uma estratégia para a satisfação da intenção, ou seja, um guia geral para as ações que o agente faz para a satisfação da intenção;
 $T \rightarrow$ localização temporal associada à ocorrência da intenção;
 $v \rightarrow 1$, se ocorre a intenção ao agente A; 0, se não ocorre a intenção ao agente A.

• *agente local expectativa* (supervisiona as expectativas) e tem a função de: verificar se uma expectativa está ou não satisfeita; atribuir valores à urgência, intensidade e insistência das

expectativas; determinar ações e desejos para a satisfação das expectativas e produzir crenças, se necessário. A arquitetura do agente local expectativa também é uma 8-tupla análoga ao agente global. Uma expectativa é uma situação definida por:

$$E_{T/A} \models \{ \langle \langle \text{Exp}, A_{T/A}, P, \xi, T, v \rangle \rangle \} \quad \text{sendo:}$$

- $E_T \rightarrow$ expectativa do tutor;
- $E_A \rightarrow$ expectativa do aluno; $\text{exp} \rightarrow$ relação expectativa
- $A_T \rightarrow$ agente tutor;
- $A_A \rightarrow$ agente aluno;
- $P \rightarrow$ uma proposição
- $\xi \models \langle \langle \text{satisfação}, n_s, X, 1 \rangle \rangle \wedge \langle \langle \text{urgência}, r_3, X, 1 \rangle \rangle$ sendo
- $n_s \rightarrow$ parâmetro ancorado no conjunto $\{es, ens\}$ de modo que, num momento $f(t) = t$, $f_s(n_s) = es$, quando a expectativa estiver satisfeita e $f_s(n_s) = ens$, caso contrário;
- $X, r_3 \rightarrow$ parâmetros ancorados no conjunto dos números reais;
- $T \rightarrow$ localização temporal associada à ocorrência da expectativa;
- $v \rightarrow 1$, se ocorre a expectativa ao agente A; 0, se não ocorre a expectativa ao agente A.

A figura 54 mostra como foi construída a aplicação do STI baseado na arquitetura SEM. O agente global tutor, através do seu agente local desejo, envia uma mensagem para o agente global estudante que a recebe através do seu agente local intenção. O agente local intenção verifica se o desejo está conectado à intenção trazendo para a ação o agente local desejo. O agente Intenção, entretanto, através do processo de inferência, verifica se existe uma estratégia para preencher a associação entre desejo e intenção.

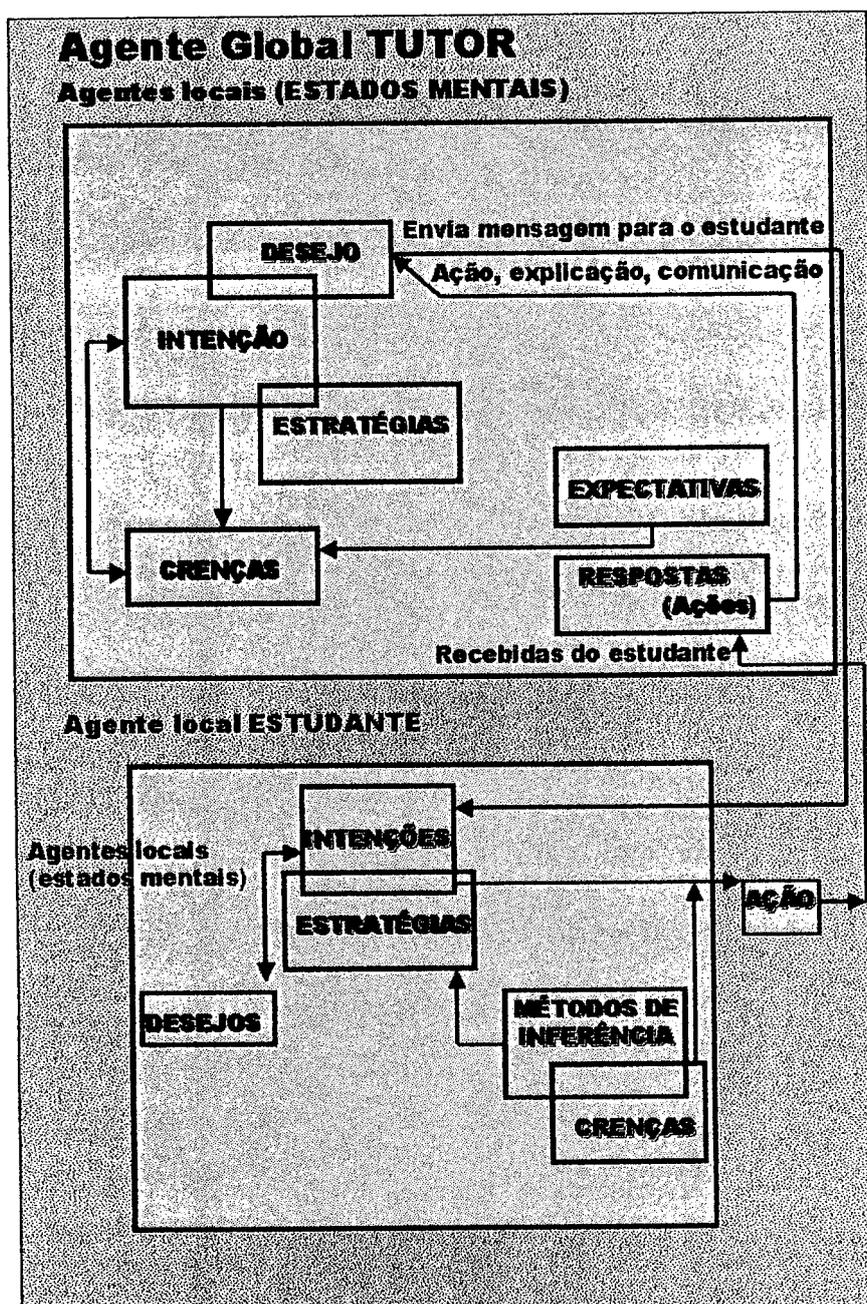
Ao lado do agente local crença, o agente local intenção, que já possui uma estratégia de ensino determinada, controla a execução e envia ao agente global tutor uma mensagem dizendo que a ação requisitada foi realizada (com sucesso ou não) e que esta foi recebida pelo agente local desejo, o qual conduz para ação os agentes remanescentes para verificar se o desejo foi ou não preenchido e envia uma nova mensagem ou espera por uma nova que será enviada pelo estudante. O agente global tutor pode receber do agente global estudante uma ação que é a resposta do pedido feito pelo tutor para o estudante através da mensagem enviada pelo agente local desejo (tutor) e a intenção (estudante), ou uma ação que é a requisição feita pelo estudante ao tutor.

O melhor entendimento do processo de ensino-aprendizagem é compreendido quando se analisa a interação entre os agentes feita pelos estados mentais *crença, desejo, intenção e expectativa*, através da observação das mudanças que ocorrem com os agentes tutor e estudante durante as interações de ensino-aprendizagem.

O trabalho em STIs usando a arquitetura SEM, permite as três seguintes situações: a conversação onde os agentes concordam com o conhecimento e a discussão do método de solução de um

problema (Oliveira *apud* Oliveira, 1996); um diálogo onde os agentes pretendem falar a respeito de um problema específico e o outro não está interessado ou não tem conhecimento para cooperar. Essas três situações permitem uma melhor exploração da dinâmica que ocorre no estado de modelo mental. O processo de ensino-aprendizagem ocorre através da explicação como proposto por Michalski e Costa (*apud ibid.*).

Fig. 54: Arquitetura SEM.



Fonte: Giraffa (1997, p. 93).

O objetivo da pesquisa neste modelo é que a abordagem do estado mental explicita o impacto desses estados (especialmente os desejos e seus níveis de urgência) no comportamento de aprendizagem da sociedade externa, principalmente para uma rota de ações mais sutis, as quais devem ser difíceis de serem obtidas de outra maneira. Tudo isso é classificado como um exemplo de perspectiva social por que trabalha com a suposição de que todo agente na sociedade externa, com a qual o sistema interatua, tem o mesmo estado mental; e a meta do sistema é induzir a algumas situações específicas os estados mentais de outros agentes.

A arquitetura SEM mantém a seguinte estrutura 8-upla para os agentes globais:

$SEM = \langle M_A, S_A, R_A, [[\alpha]]_A, [[\epsilon]]_A, [[\Psi]]_A, BDE_A, I_A \rangle$ onde:

M_A é o conjunto de estados internos do agente; S_A é o conjunto “*todo o possível estado externo para o agente A*”; R_A é o conjunto partição S que caracteriza a sensação do agente; $[[\alpha]]_A$ é o conjunto de ações que o agente A pode executar; $[[\epsilon]]_A: S_A \rightarrow R_A$; $[[\Psi]]_A$ é uma função efetora que caracteriza os efeitos das ações dos agentes no mundo externo: $[[\Psi]]_A: [[\alpha]]_A \rightarrow S_A$; BDE_A é um 3-upla $\langle B_A, D_A, E_A \rangle$ onde: B_A é a estrutura de crenças do agente A . D_A é a estrutura de desejos do agente A . E_A é a estrutura das expectativas do agente; I_A é a estrutura de intenções do agente A .

A estrutura de cada agente local é definida por uma arquitetura feita de 8-uple, cujo simbolismo é similar aos agentes globais. Cada um dos agente chamados locais tem uma função específica que resulta das definições, propriedades e relações entre os estados mentais.

Para a adoção da arquitetura SEM para um modelo de STI, Oliveira (1996, p. 5) afirma ter revisado a *influência na construção de agentes e também da simulação das interações entre eles*. O uso da teoria da situação permitiu a forma declarativa de programação, possibilitando que uma representação mais granular dos estados mentais acrescente o poder de explicação da interação, pela melhor avaliação das mudanças ocorridas no processo de ensino/aprendizagem. Os vários modelos de estados permitem aos agentes atuar com mais precisão.

6.2.3 Ambiente MATHEMA

O MATHEMA, proposto por Costa (*apud* Giraffa, 1997, p. 94), é um ambiente interativo, concebido para apoiar atividades que venham a favorecer um ensino adaptativo e seus desdobramentos no processo de aprendizagem. Trata-se de um ambiente propondo uma nova abordagem no suporte à concepção de ILE, configurado como uma solução alternativa e efetiva no problema de adaptação.

O ensino (adaptativo) é aqui visto como consequência do processo de interações cooperativas, envolvendo os seus componentes (aluno e tutor) em atividades baseadas em resolução de problemas. A noção de problema, colocada por Costa, significa uma situação, onde a partir de certas condições iniciais ou estado inicial do problema, tenta-se atingir um dado objetivo através de um conjunto de ações. A aprendizagem é assumida como sendo favorecida e decorrente de atividades provenientes do ensino adaptativo, significando aquisição de conhecimento.

O MATHEMA foi concebido numa estrutura definida para suportar técnicas e funcionalidades de IAD, através de uma abordagem baseada nos SMA. O modelo de agente adotado tem como proposta central a investigação de um aprendiz humano em uma sociedade de agentes tutores artificiais, visando envolvê-lo numa situação de aprendizagem.

- A arquitetura do MATHEMA

É composta por seis componentes, a saber:

- *Aprendiz humano*: agente interessado em aprender algo sobre um determinado domínio trabalhando no ambiente MATHEMA. Ele desempenhará essencialmente o papel de uma agente ativo, envolvido em atividades baseadas na resolução de problemas num domínio de aplicação, sob a assistência especializada de um agente tutor (imerso numa sociedade de agentes cooperativos).

- *Motivador externo*: entidades humanas externas que desempenham o papel de motivadoras do aprendiz para trabalhar no MATHEMA. Alguns motivadores podem ser o próprio professor, seus colegas ou outros.

- *Sociedade de agentes tutores artificiais (SATA)*: conjunto de agentes (ou micro-agentes) que algumas vezes cooperam entre si a fim de promoverem a aprendizagem de um dado aprendiz em atividade de ensino. Cada um desses agentes é especializado em subdomínios contidos em um dado domínio do conhecimento. Esta idéia é inspirada no trabalho de Minsky (*apud* Giraffa, 1998, p. 94), onde o conceito de inteligência emerge da combinação de agentes mentais, cada um responsável por um pequeno processo.

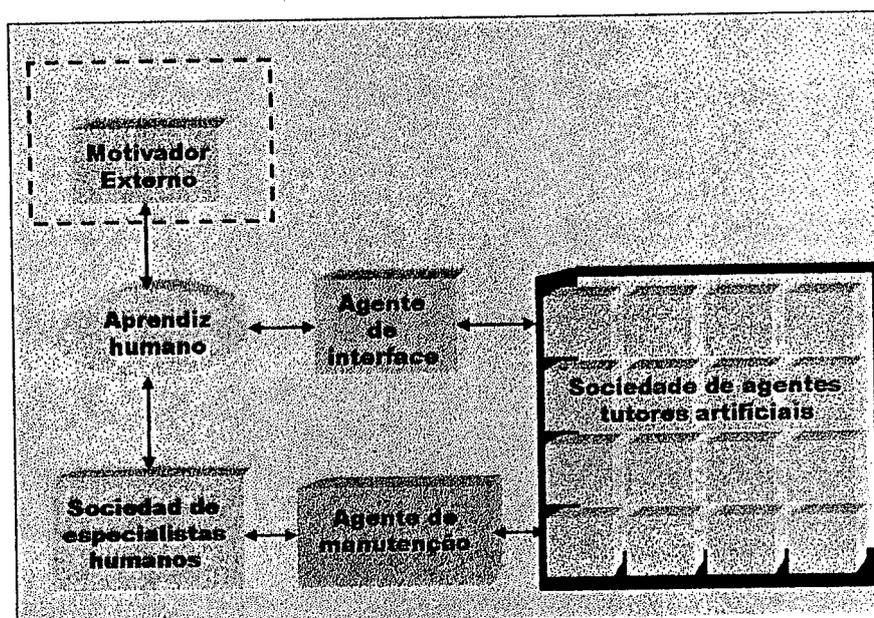
- *Sociedade de especialistas humanos (SEH)*: fonte de conhecimento externa ao sistema computacional (um agente que funciona como um oráculo) para a SATA. Dessa sociedade depende a manutenção da SATA (inclusão, exclusão, alterações no conhecimento dos agentes) e mais a assistência aos aprendizes no caso da falha da SATA. A SEH pode analisar o desenvolvimento das interações entre o aluno e a SATA, avaliar seu desempenho, promover melhorias sempre que necessário, independente de ter sido ou não requisitada pela SATA.

- *Agente Interface (AI)*: elo de ligação entre o aprendiz humano e a SATA.

▸ *Agente manutenção (AM)*: elo de ligação (interface) entre a SEH e a SATA, encarregando-se de prover a interação entre elas.

As setas mostradas na figura 55 representam os relacionamentos interativos entre os componentes do MATHEMA. Baseado nesses relacionamentos, será dada a seguir, uma visão geral envolvendo um cenário de funcionamento das interações (mais de um ponto de vista abstrato e externo) que podem ocorrer no MATHEMA.

Fig. 55: Arquitetura do MATHEMA.



Fonte : Giraffa (1998, p. 95).

- O funcionamento do MATHEMA

Inicialmente, um dado Aprendiz Humano, supostamente incentivado por um Motivador Humano Externo, começa a interagir com o Agente Interface. Nesse caso, o AI apresenta ao Aprendiz algo sobre o ambiente computacional de ensino e ajuda, mediante uma análise de seus objetivos, a escolher seu Supervisor em SATA. A partir daí, inicia-se um processo de interação cooperativa e didática entre o Aprendiz e o Agente Supervisor. O Agente Supervisor será então o responsável pelo Aprendiz, oferecendo-lhe a orientação necessária à promoção do seu aprendizado. Durante esta interação, situações com diferentes complexidades podem ocorrer. A mais elementar é a que envolve apenas a interação entre o Aprendiz e o seu Supervisor. A complexidade, entretanto, começa a aumentar à medida que a demanda do Aprendiz passa a requerer a participação de outros agentes, além do seu Supervisor. Isso poderá evoluir a uma situação extrema na qual os agentes em SATA não conseguem atender à requisição do

Aprendiz. Nesse caso, o Agente Supervisor informa o aprendiz sobre a impossibilidade de atendê-lo, pelo menos momentaneamente, pois irá consultar sua entidade oracular, deixando a possibilidade de agendar um horário conveniente. Assim, ele informa a SEH sobre o ocorrido, através do Agente de Manutenção. A SEH, tendo resolvido o problema, informa o agente supervisor da sua disponibilidade em interagir com o Aprendiz e assim o faz, caso todas as providências tenham sido tomadas. Além disso, caso julgue necessário, a SEH realiza uma operação de manutenção em SATA.

A componente SATA é constituída por um conjunto de agentes (micro-agentes) que podem cooperar entre si através de um protocolo, afim de promover a aprendizagem de uma dado estudante, numa dada situação de resolução de problemas. Esta sociedade é definida em função de um domínio de conhecimento, que por sua vez é organizado em uma série de subdomínios, e a cada um deles é associado um micro-agente. Para trabalhar essa visão, foram feitas algumas reflexões e considerações sobre o domínio de conhecimento.

Foi definido um esquema de organização do conhecimento onde o domínio de conhecimento é dividido em diferentes, preferencialmente independentes, subdomínios. Esta divisão está comprometida com micro-especialidades, distribuídas em três dimensões de conhecimento: uma para profundidade (que diz respeito ao refinamento na linguagem de percepção), outra para amplitude (lateralidade) e a última, composta por diferentes pontos de vista sobre o domínio de conhecimento e sobre o domínio pedagógico. Em SATA, o domínio associado a um ponto de vista particular, origina uma série de micro-agentes comprometidos com as dimensões de profundidade e lateralidade. Essas três dimensões são o alicerce para se buscar um compromisso entre uma boa estruturação e riqueza de conhecimento. Com isso e mais um mecanismo de interação "*poderoso*", pretende-se dispor de um ambiente mais adequado para promover aprendizagem cooperativa e, assim, conseguir um maior potencial de adaptabilidade do Tutor a um estudante em particular. A idéia, portanto, é combinar estes fatores em tal ordem que venham a favorecer o surgimento de um comportamento adaptativo na interação com o Aprendiz.

- As capacidades dos agentes:

Cada agente é uma entidade inteligente em algum subdomínio, dispondo de conhecimento necessário para ensinar e, particularmente, resolver problemas nesse subdomínio. Ele pode também contribuir para um comportamento social através de suas capacidades. A cada agente estão associadas as seguintes capacidades:

⇒ *Resolução de problemas*: um agente deve não só propor problemas ao aprendiz, como parte do processo interativo inerente, mas também deve resolver ou ajudar a resolvê-los.

⇒ *Aprendizagem*: cada agente possui três modalidades de aprendizagem: a primeira diz respeito à possibilidade de ele aprender com a SEH; a segunda considera a possibilidade de ele aprender com o aprendiz (por exemplo, aprender novas soluções para um dado problema) e sobre o aprendiz (constituindo-se no que se denomina Modelo do Estudante); e finalmente a terceira trata da possibilidade de aprendizagem sobre outros agentes (um tipo de aprendizagem social, onde um agente em cooperação com o outro, pode especializar mais o seu conhecimento sobre a capacidade desse agente).

⇒ *Resolução de Conflitos Cognitivos*: essa situação diz respeito à possibilidade de discordâncias que possam surgir entre o conhecimento do agente tutor e o do aprendiz. Esses conflitos podem ser identificados em quatro situações referentes a um processo de resolução de problemas, a saber:

(i) o tutor está certo e o aprendiz está errado. Essa situação ocorre no momento em que o aprendiz apresenta sua argumentação referente à solução do problema e o tutor detecta algum erro ou falsa concepção no processo de solução.

(ii) o aprendiz está certo e o tutor está errado. Essa situação pode ocorrer, mas apenas será percebida e resolvida pela SEH;

(iii) ambos estão certos. Essa situação ocorre quando o tutor reconhece que a solução do aprendiz está correta, mas não se trata de uma solução conhecida pelo tutor;

(iv) ambos estão errados. Essa situação pode ocorrer, mas apenas será percebida e resolvida pela SEH.

⇒ *Comunicação e Cooperação* com outros agentes, com o aprendiz e com a SEH.

• Modelo do Agente:

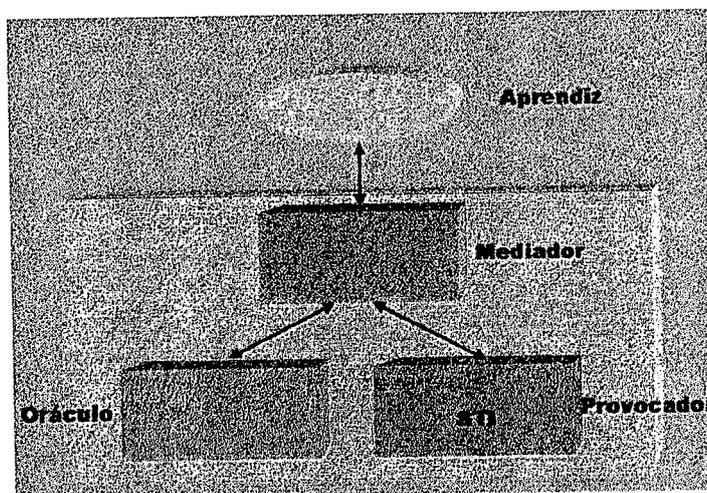
O modelo do agente adotado no trabalho baseado no modelo de Schiman *et al.* (*apud* Costa, 1996), onde uma organização social é caracterizada por meio de suas interações.

Um agente tutor é constituído por duas camadas principais, a saber: camada do sistema de ensino e camada de cooperação, conforme a figura 56.

⇒ *Camada do Sistema de Ensino*: esta camada é responsável pelas atividades de ensino adaptativo, tomando por base uma aprendizagem calcada em resolução de problemas, nos termos já declarados. É através dela que ocorrem as interações entre o Aprendiz e Agente Tutor. O Aprendiz é colocado numa situação de resolução de problemas em interação com o Tutor. Nesse processo, o Agente Tutor acompanha o Aprendiz durante a interação, monitorando suas ações e provendo-lhe um feedback adequado.

Os tipos de interações entre o Aprendiz e o Tutor incluem aspectos didáticos, numa situação de troca de mensagens, onde o tutor envia ao Aprendiz uma mensagem com conteúdo X e este retorna uma outra com conteúdo Y.

Fig. 56: STI cooperativo.



Fonte: Giraffa (1998, p. 98).

► *Camada de Cooperação* : esta camada é composta por conhecimentos e mecanismos necessários para a viabilização do trabalho cooperativo na sociedade de tutores. Para isso, cada tutor possui nesta camada seis módulos, que são:

► autoconhecimento (AC): é uma estrutura de conhecimento representando quais as capacidades do agente.

► conhecimento social (CS): é uma estrutura de conhecimento representando as capacidades dos outros agentes tutores na sociedade. Esse conhecimento é usado para identificar agentes tutores especializados em uma dada tarefa. Isso é necessário quando as capacidades de um agente são insuficientes para lidar com um dado problema, e esse agente necessita da cooperação de um outro.

► encaminhamento: é um módulo responsável pela seleção de agentes para iniciar uma cooperação. Esta seleção é feita baseada no conhecimento social, descrito acima. Algumas estratégias e regras de resolução de conflitos são utilizadas por este módulo para solucionar possíveis impasses que possam surgir durante o processo de eleição de agente(s).

► protocolos: são uma coleção de possíveis protocolos que podem ser usados no processo de cooperação entre os agentes. Um protocolo é um conjunto de regras que visam restringir o diálogo entre os agentes, com o intuito de possibilitar o processo construção/interpretação das mensagens

trocadas entre eles. Estes protocolos podem ser acessados a partir de uma biblioteca de protocolos, para atenderem certas exigência da camada de ensino.

➤ controle: é um módulo responsável pela coordenação dos protocolos, pelo preparo das mensagens a enviar e pelo processamento das mensagens recebidas.

➤ comunicação: esse módulo é responsável pelo envio e recebimento de mensagens, através do ambiente de comunicação.

O ambiente do MATHEMA possui características interessantes que podem servir de base para nosso trabalho futuro, especialmente na possibilidade que oferece de se acompanhar os desdobramentos do processo de aprendizagem.

6.3 Conclusões e problemas em aberto

O grande problema no projeto de software educacional é a carência da formulação de uma teoria geral da instrução. A aprendizagem do ser humano é ainda matéria de muita especulação e controvérsia e, embora certas áreas tenham sido amplamente pesquisadas, alguns princípios fundamentais de representação e comunicação das coisas para o computador permanecem ainda amplamente desconhecidas. Muitas decisões nesta área de pesquisa são, ainda, baseadas em experimentos empíricos, em observações ou questões intuitivas.

Os ambientes de aprendizagem especialmente projetados para propósitos educacionais tendem a ser, em algumas áreas, inspirados no construtivismo e nas teorias de aprendizagem de Vigotsky. Essas teorias focalizam-se na aprendizagem e instrução *context-anchored*, contextualizada numa forma realista de resolução de problemas (Vassileva, 1997). Nesses sistemas encontram-se algumas estratégias de tutoriais implícitas, pois a abordagem construtivista não deixa o estudante fora de qualquer supervisão.

O principal dogma do construtivismo diz que aprender significa construir estruturas de conhecimento. Segundo Lester (1997), para promover episódios de aprendizagem construtivista, os ambientes devem possuir facilidades para a construção de conhecimento. O ressurgimento do interesse nos micromundos indica a preocupação, também, dos aspectos qualitativos da aprendizagem e não apenas dos aspectos quantitativos.

Segundo Katz *et. al.* (*apud* Giraffa, 1997), o projeto é uma das técnicas mais promissoras do arsenal construtivista, ou seja, o aluno deve *aprender fazendo*. O processo de montar estruturas a partir de desafios (problemas), utilizando ferramentas disponíveis em um determinado ambiente, tem proporcionado experiências muito ricas de aprendizagem por parte dos alunos. Infelizmente, o grande

potencial intrínseco nesta abordagem, é ainda um grande desafio a ser vencido, porque a sistematização dos processos complementares à tarefa de construir o conhecimento são muito complexos e precisam de técnicas e modelagens ainda não disponíveis.

Comparando os novos paradigmas construtivistas, construcionistas e de aprendizagem social suportados pelos STI tradicionais, pode-se observar que a mudança para o paradigma suportado pela IA distribuída, implica um desafio maior e aumenta o grau de complexidade do projeto destes ambientes, uma vez que a questão pedagógica e psicológica e a parte do *design* e implementação possuem a mesma importância. Não se quer afirmar com isto, que os ambientes tradicionais não se preocupavam com as questões pedagógicas, mas salientar que na abordagem construtivista, a idéia da *interdisciplinaridade* é um fato concreto, sem o qual não se pode trabalhar com qualidade.

O projeto de um software educacional implica uma série de tomadas de decisão que vão desde o aspecto técnico até o pedagógico. A escolha da modalidade de software que se deseja implementar traz consigo uma série de pressupostos psico-pedagógicos, que devem ser observados por parte dos projetistas do ambiente.

Os ambientes de ensino-aprendizagem numa abordagem construtivista-conceitual procuram, em geral, colocar à disposição dos professores/aprendizes um conjunto de software que possibilitem o *aprender-a-aprender*, ou seja, que o aluno se torne mais participativo e possa perceber os efeitos de suas tomadas de decisão no ambiente e, também, possa formular hipóteses sobre o conhecimento que está manipulando, e testá-las num ambiente de ensino-aprendizagem computadorizado próprio.

Esta mudança levou os pesquisadores a trabalharem em equipes interdisciplinares, com profissionais da área da Educação, Psicologia e especialistas de outras áreas afins e implicou no desenvolvimento de toda uma metodologia de trabalho para preparar os alunos de maneira que eles entendessem o papel da informática no projeto e no conjunto dos conhecimentos aplicados à educação que eles deveriam possuir para implementar os ambientes com as características desejadas. Esta mudança implicou, também, a conscientização de pesquisadores e colaboradores de outras áreas sobre as limitações existentes a nível de hardware e software (disponíveis na época de cada projeto), e possibilidades de viabilizar implementações de projetos, sua manutenção e evolução.

7 O MODELO

A seguir, apresentar-se-á uma arquitetura de agente pedagógico, na qual incorporam-se diversos aspectos da Teoria do Desenvolvimento Humano, da Inteligência Artificial Distribuída e da Inteligência Artificial Construtivista e a RV.

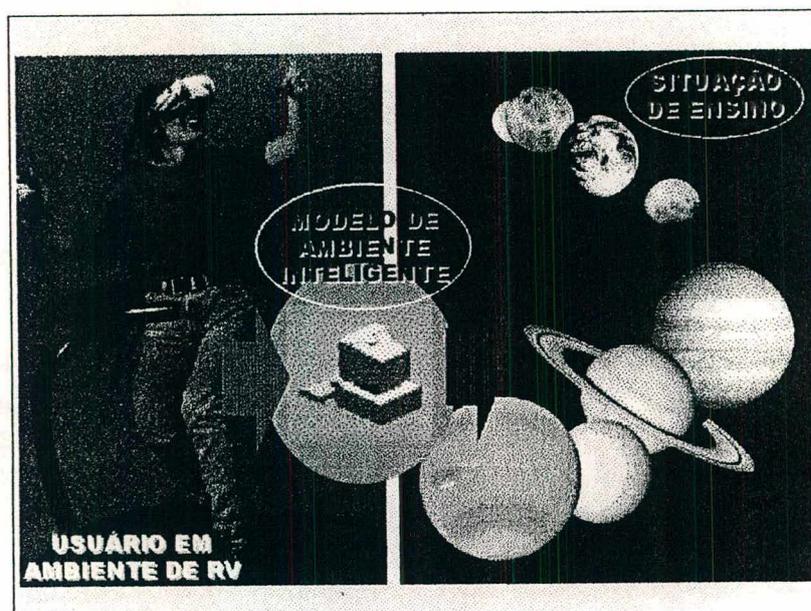
7.1 Características do modelo

O objetivo principal deste projeto é propor uma arquitetura de ambiente inteligente de educação que, através do emprego de técnicas imersivas (Psothka (1995, 1996); (Psothka, Davison, 1996), Rickel e Johnson (1997, 1997a, 1998); Odegard (1993, 1995a, 1995b); Tam. *et. al.* (1996)), possibilitem ao aprendiz experiências diretas e que aliadas a tecnologias inteligentes (Russel, Norvig (1996); Johnson, Rickel, (1996); Randall, Johnson (1995); Oliveira (1993, 1996); Oliveira, Viccari (1996); Giraffa (1997, 1998, 1998a); Giraffa, Viccari (1997); Costa (*apud* Giraffa, 1997)) ofereçam maior efetividade nas atividades educativas e de treinamento.

Para realizar tarefas complexas, como a operação de complicada maquinaria, ou a participação em combates aéreos, etc., os usuários precisam realizar experiências manuais em variadas situações. Também precisam de um mentor que possa demonstrar procedimentos, responder a perguntas e monitorar a performance, além de colegas nas tarefas que requeiram muitas pessoas. Por tudo isso, fica extremamente difícil fornecer tal treinamento com equipamentos e recursos reais e como alternativa, explora-se o uso da simulação em RV - tecnologia extremamente valiosa em domínios da vida real, onde o treinamento é custoso ou perigoso - que pode fornecer estímulos perceptuais mais realistas, como por ex., visuais, auditivos e *haptics*, (Rickel, Johnson, 1997a). O treinamento, desse modo, é feito num espaço tridimensional, interativo, isto é, numa maquete simulada do ambiente de trabalho do estudante ou treinando, conforme mostra a figura 57. Na medida em que os mentores e colegas podem não estar permanentemente disponíveis para os estudantes, apresentar-se-á a arquitetura de um agente autônomo animado, que possa desempenhar esses papéis. Este agente integrará métodos das três áreas de pesquisa primária: STI, computação gráfica e arquitetura de agentes. Esta nova combinação resulta em um conjunto único de capacidades. O modelo possuirá as capacidades pedagógicas esperadas de um STI, (por ex., perguntar coisas como “o quê devo fazer depois?” e “o quê?”). O agente possuirá um corpo

animado, coabitará em um mundo virtual¹ com os estudantes e poderá fornecer assistência semelhante à oferecida por um especialista humano, previamente incorporado no tutor, (por ex., poderá demonstrar ações, olhares e gestos para direcionar a atenção do estudante ao redor do mundo virtual). A RV é uma importante tecnologia na área de IA, já que permite uma maior interação entre humanos e agentes sintéticos, que a oferecida pelas interfaces *desktop*. Finalmente, a arquitetura do agente lhe permitirá uma robusta manipulação do mundo virtual dinâmico, povoado potencialmente por pessoas e outros agentes; monitorará continuamente o estado do mundo virtual, mantendo constantemente um *plano*² para completar a tarefa em andamento, revisando-o periodicamente para melhor gerenciar os eventos ou contingências imprevistas.

Fig. 57: Simulação em ambientes de RV.



Fonte: Casas (1997).

A arquitetura do agente é projetada para trabalhar como um estudante na realização de uma tarefa e para coexistir com outras pessoas e agentes no mundo virtual. Ressalta-se a meta, que

¹ Os mundos virtuais são lugares, onde experimenta-se novas realidades. Contém todos os objetos que podem ser vistos e manejados. Permite, além disso, experimentar coisas impossíveis no mundo real (Gradecky, 1995, p. 2).

² Na maioria dos STIs, o "*plan recognition*" é executado pelo módulo de diagnóstico do estudante, que constrói um modelo da situação atual da compreensão do estudante no assunto da matéria e o usa para interpretar suas ações na resolução de um problema dado. Se a capacidade de "*plan recognition*" é eficazmente incorporada num ambiente de aprendizagem, deve ser projetada com as seguintes questões em mente (Johnson, 1996, p. 1):

- que quantidade de informação deve ser requerida sobre os planos das pessoas e quando essa informação deve estar disponível?;
- que esforço deve ser canalizado para monitorar as ações das pessoas e o ambiente no qual essas ações são desenvolvidas?;
- qual é a justificativa do sistema para a inferência das intenções, enfatizando as ações observadas?.

ultrapassa os objetivos deste trabalho, que consistiria em suportar o treinamento de equipes de pessoas, que poderiam estar em locais distintos, co-habitando um mesmo mundo virtual. Os agentes, neste caso, poderiam executar os seguintes papéis na tarefa de treinamento: servir como tutores para indivíduos isolados da equipe, e/ou assumir o papel dos membros ausentes da equipe.

A seguir serão descritos os componentes do modelo, relativos ao mundo virtual e ao agente.

7.2 Arquitetura do mundo virtual para usuários e agentes.

Uma arquitetura de *software* para a criação de um mundo virtual, onde as pessoas e agentes possam co-habitar, deverá considerar aspectos de modularidade e eficiência, podendo consistir em componentes separados, executáveis em processos paralelos, possivelmente em diferentes máquinas, que se comunicarão pelo intercâmbio de mensagens. Tal arquitetura incluirá os seguintes componentes:

- *simulador ou gerador de cenários de treinamento*³: o comportamento do mundo virtual será controlado pelo simulador, que por sua vez, projetará exercícios de treinamento com grau de complexidade crescente, baseando-se: no conhecimento do especialista do domínio; no nível de habilidade do aprendiz, atualizado e contido no subsistema do “*domínio de observação e autoobservação*” do agente tutor; e em qualquer ponto fraco ou deficiência demonstrada pelo aprendiz em sua interação prévia.

- *interface visual*⁴: cada participante humano possuirá um componente de interface visual, que lhe permitirá ver e manipular o mundo virtual. A pessoa será conectada a este dispositivo, através de vários componentes de *hardware*, mostrados a seguir: a visão será fornecida por um *head-mounted display-HMD*⁵; os movimentos serão trilhados por sensores de posição situados na cabeça e nas mãos; a interação com o mundo será realizada pelo “*tocar*” objetos⁶ (Coad e Yourdon (1992)),

³A implementação prática pode ser desenvolvida com um mecanismo de simulação, i.e., com o VIVIDS de Munro e Surmon (1997), desenvolvido no “*USC Behavioral Technologies Laboratory*”.

⁴A implementação prática pode ser realizada com um componente de interface visual, i.e., um Lockheed Martin’s Vista Viewer de Stiles (McCarthy e Pontecorvo (1995)).

⁵Dispositivo abordando o ponto “*4.4.1 Aspectos visuais da RV*” deste trabalho.

⁶Para a modelagem de sistemas, existem diversas abordagens de Análise e Projeto Orientado a Objetos, como reporta o autor Graham (1996, p. 261). A Técnica de Modelado de Objetos (OMT) proposta por Rumbaugh et. al. (1996), emprega três classes de modelos para descrever o sistema, a saber: Modelo de Objetos, que descreve os objetos do sistema; Modelo Dinâmico, que descreve as interações existentes entre os objetos do sistema; e Modelo Funcional, que descreve as transformações de dados do sistema. Todos esses modelos são aplicáveis na totalidade das fases de desenvolvimento de um projeto e vão adquirindo os detalhes da implementação, à medida que o desenvolvimento progride. A técnica OMT pode resultar de extrema utilidade na modelagem do ambiente virtual.

Rumbaugh, et. al. (1996)) virtuais, através de um *data glove*⁷. O componente de interface visual executa dois papéis primários (Rickel, Johnson, 1998, p. 6):

- recebe mensagens de outros componentes (fundamentalmente do *simulador ou gerador de cenários de treinamento*), descrevendo mudanças na aparência do mundo e essa saída será uma representação gráfica tridimensional, através do *head-mounted display - HMD* do usuário;
- Informa aos outros componentes quando a pessoa interatua com objetos.

- *áudio*: cada participante humano possuirá um componente de áudio, que receberá mensagens do *simulador ou gerador de cenários de treinamento*, descrevendo a localização e o raio de audição dos vários sons, e transmitirá sons apropriados para os *headphones* do *head-mounted display - HMD*.

- *geração de fala*⁸: cada participante humano possuirá um componente de geração de fala que receberá mensagens de textos de outros agentes (primários), que converterão o texto para fala, transmitindo-a para os *headphones* do usuário.

- *reconhecimento de fala*⁹: cada participante humano possuirá um componente de reconhecimento de fala, que receberá esses sinais pelo microfone do usuário e também reconhecerá a fala através da gramática e, por fim, produzirá um símbolo (*token*) semântico representando a fala para os outros componentes. (para simplificar o modelo não se propõe a capacidade de compreensão de linguagem natural e, por isso, não será necessário o reconhecimento de orações).

- *agente comunicador de mensagens*¹⁰: os vários componentes não se comunicarão diretamente. Em vez disso, todas as mensagens serão enviados para o *agente comunicador de mensagens*. Cada componente dirá ao agente os tipos de mensagens que possam interessar. Quando a mensagem for recebida, o agente a enviará para todos os componentes interessados, i.e., cada componente de interface visual registrará interesse nas mensagens que especificarem mudanças na aparência do mundo virtual (por ex., mudança na cor ou localização de um objeto). Quando o *simulador ou gerador de cenários de treinamento* enviar uma mensagem, o agente distribuidor a transmitirá para todos os componentes da interface visual. Esta abordagem melhorará a modularidade, já que um componente não precisará

⁷ Ele também poderia pegar objetos com um *pinch glove* ou *click* de objetos usando um *mouse* de 3D; todas essas alternativas podem ser tratadas da mesma forma pelo componente da interface visual, já que podem suportar esses dispositivos.

⁸ A implementação prática pode ser realizada com algum produto *text-to-speech*, i.e., *Entropic's TrueTalk*™.

⁹ A implementação prática pode ser realizada com um produto, como o *Entropic's GraphHVite*™.

¹⁰ A implementação prática pode ser realizada incorporando ao agente de comunicação de mensagens, um despachante como o *Sun's ToolTalk*™.

conhecer a interface dos outros. A extensibilidade também será melhorada, pois novos componentes poderão ser adicionados sem afetar os já existentes.

7.3 Arquitetura do agente tutor

O modelo de *agente tutor* será constituído por três subsistemas, descritos a seguir: *domínio de observação e auto-observação*, *domínio cognitivo*¹¹, e *controle motor*, que comunicar-se-ão diretamente, mas não por via do *agente comunicador de mensagens*. O subsistema de *domínio cognitivo* comunicar-se-á com os outros dois através da transmissão de mensagens. O subsistema domínio cognitivo enviará uma mensagem ao subsistema *domínio de observação e auto-observação* quando estiver pronto para uma atualização no estado do mundo virtual, e o subsistema *domínio de observação e auto-observação* responderá com uma visão instantânea do estado do mundo e do conjunto de eventos importantes ocorridos a partir da transmissão da última visão instantânea. O subsistema *domínio cognitivo* também enviará mensagens de comandos motores para o subsistema de *controle motor*.

O subsistema de *domínio de observação e auto-observação* monitorará as mensagens do agente de *comunicação de mensagens* e identificará os eventos relevantes para o *agente tutor*, tais como as ações executadas pelas pessoas e agentes no mundo virtual e como as mudanças no estado do mundo virtual. O subsistema *domínio cognitivo* interpretará as entradas de informação recebidas do subsistema *domínio de observação e auto-observação*, selecionará as metas apropriadas, construirá e executará planos para atingi-las, e enfim, enviará para o subsistema de *controle motor* os comandos de controle do corpo do *agente tutor*. O subsistema de *controle motor*, por sua vez, decomporá esses comandos motores numa seqüência de comandos de baixo-nível, que serão enviados a outros componentes via *agente de comunicação*.

¹¹Na implementação, o subsistema *domínio cognitivo* deverá ser executado como um processo e os subsistemas *domínio de observação e auto-observação* e *de controle motor* deverão ser executados em processos separados. Esta divisão possui duas vantagens:

- primeira: permite que cada subsistema seja implementado numa linguagem apropriada. O subsistema *domínio cognitivo* é projetado como uma arquitetura geral para cognição; muitas das capacidades cognitivas do modelo serão implementadas usando regras de produção, contrastando com os agentes *domínio de observação e auto-observação* e de controle motor que serão implementados em linguagens procedurais, i.e., C++.
- segunda: o subsistema *domínio cognitivo* será executado em paralelo junto ao de *domínio de observação e auto-observação* e de *controle motor*. Isto é especialmente importante quando existir um grande volume de mensagens chegando ao subsistema de *domínio de observação e auto-observação*, como deve acontecer no caso de um mundo altamente dinâmico; se o subsistema de *controle motor* for computacionalmente custoso, provavelmente o custo seja executar o subsistema de *domínio de observação e auto-observação* e o subsistema de *controle motor* separado. O processo paralelo poderia ser uma alternativa, mas teria limitações em caso de processamento à distância.

O subsistema de domínio cognitivo poderá ser executado como um processo e os subsistemas de domínio de observação e auto-observação e controle motor, como processos separados. O subsistema de *controle motor* poderá residir nos processos do subsistema *domínio de observação e auto-observação*, assim, desta maneira, poderá acessar livremente a informação perceptual, através de chamadas de procedimentos e variáveis compartilhadas. A seguir serão explorados os subsistemas constituintes do modelo de *agente tutor*.

7.3.1 *Subsistema domínio de observação e auto-observação*

Este subsistema receberá as mensagens dos outros componentes através do *agente comunicador de mensagens*, usará as mensagens para manter uma representação coerente do estado do mundo virtual e fornecerá esta informação para os subsistemas de *domínio cognitivo* e do *controle motor*. A seguir será descrita a forma de obter informação e representação, propostas para este subsistema:

- *representação do estado do mundo virtual*: as representações necessárias propostas para o funcionamento do modelo são categorizadas da seguinte forma:

- *representação do estado do simulador ou gerador de cenários de treinamento*: a maior parte da informação a respeito do estado do mundo virtual será mantida pelo simulador. O subsistema *domínio de observação e auto-observação* representará o estado do simulador através de um conjunto de pares atributo-valor. Cada atributo representará o estado da variável no simulador e o valor do atributo representará o valor da variável. O subsistema *domínio de observação e auto-observação* manter-se-á informado dos estados do *simulador ou gerador de cenários de treinamento* através da captação das mensagens (cada mensagem especificará o nome do atributo enviado e do seu novo valor) via *agente de comunicação*, que aproveitará essas informações para obter uma visão instantânea do estado da simulação, que será solicitada periodicamente pelo subsistema de *domínio cognitivo*, fazendo com que o subsistema *domínio de observação e auto-observação* esteja sempre pronto a enviar as mensagens. O conhecimento perceptual, fornecido pelo autor do curso ao *agente tutor*, deverá incluir uma lista de todos os atributos relevantes.

- *representação de propriedades espaciais dos agentes e objetos*: objetivando controlar o corpo do *agente tutor* no mundo virtual, este precisará conhecer as propriedades espaciais dos objetos, tais como sua posição, orientação, e extensão espacial. O *simulador ou gerador de cenários de treinamento* controlará a aparência do mundo virtual através das instruções dos componentes da interface visual, que objetivam a chamada de modelos gráficos de objetos e o envio de atributos de propriedades dos objetos, como localização e cor; deverá, ainda, manter tais propriedades para fornecê-las ao subsistema de *domínio de observação e auto-observação*.

Para interatuar com objetos, o agente tutor precisará de informações espaciais adicionais, não fornecidas pelos componentes da interface visual, descritas a seguir: *front vector*¹², *grasp vector*¹³, *press vector*¹⁴ e *agent location*,¹⁵ informações geralmente proporcionada pelo autor do curso ou especialista do domínio.

► *representação de propriedades de participantes humanos*: o subsistema de *domínio de observação e auto-observação* também seguirá as trilhas dos participantes humanos através do componente de interface visual, usando a posição do sensor do *head-mounted display* – HMD, para encontrar sua localização no plano das coordenadas cartesianas (especialmente, o ponto entre seu olhos) e sua linha de visão. O subsistema de *domínio de observação e auto-observação* solicitará ao componente de interface visual a localização do objeto em relação ao campo visual do estudante; o componente de interface visual informará, em seguida, a entrada ou saída do objeto/objetos no campo visual do estudante, e assim, este subsistema terá a visão instantânea do campo visual do estudante, e poderá, também, solicitar esta informação, quando necessária, do *subsistema de controle motor* (ex., olhar para uma pessoa).

► *representação de conhecimento perceptual para planejamento de caminhada*: o agente tutor deve navegar através do mundo virtual de objeto em objeto, evitando choques¹⁶, devendo-se modelar este fato com alguma abordagem específica.

• *representação e manipulação de eventos*: uma vez que o subsistema *domínio de observação e auto-observação* transmitirá visões instantâneas do estado do mundo para o subsistema de *domínio cognitivo*, transmitirá, também, uma lista de eventos importantes ocorridos a partir do envio da última visão instantânea do mundo, objetivando não perder informação, conseguindo, assim, com que o subsistema de *domínio cognitivo* possua uma visão completa do mundo e de suas mudanças.

O módulo *domínio de observação e auto-observação* recebe e remete ao subsistema de *domínio cognitivo* vários tipos de eventos:

¹²Para interatuar com um objeto, o *agente tutor* solicitará saber qual a posição do objeto, para posicionar-se em sua frente. Este conhecimento deverá ser proporcionado num plano x-y, que localize a frente do objeto, a partir de sua origem.

¹³O *agente tutor* poderá precisar pegar um objeto, necessitando de orientação apropriada em relação à mão, que será proporcionada do ponto de um vetor tridimensional.

¹⁴O *agente tutor* pode precisar pressionar um objeto (por ex., um botão), então também precisará de uma apropriada orientação para realizar essa operação. Esta informação é proporcionada de um ponto tridimensional.

¹⁵Quando o *agente tutor* interatua com um objeto, deverá estar parado na frente do objeto, ligeiramente para a direita ou esquerda, para não atrapalhar a visão do usuário. Com a localização do objeto, o *front vetor* e alguma informação complementar, o agente tutor poderá encontrar sua localização.

¹⁶Existem várias abordagens para uma navegação livre de choques, algumas delas, originalmente desenvolvidas por pesquisadores em robótica e depois adaptadas para mundos gráficos.

► *estado de mudanças*: O simulador ou gerador de cenários de treinamento enviará mensagens sempre que o estado do mundo virtual sofrer mudanças. As “*mudanças de estado importantes*” deverão estar especificadas no *subsistema domínio de observação e auto-observação do agente tutor*.

► *ações de objetos*: quando um participante humano interatuar com um objeto (por ex., toca-o com um *data glove*), o componente visual desse participante transmitirá uma mensagem especificando o seu nome e o do objeto tocado. O significado desta interação dependerá do objeto.

► *fala humana*: o agente tutor receberá uma mensagem do componente de reconhecimento de fala, toda vez que o participante humano começar e acabar de falar. A primeira mensagem especificará quem está falando e a segunda incluirá, adicionalmente, um *token* semântico que representará a sentença reconhecida. Quando o reconhecedor de fala não compreender a sentença, ela retornará como um *token* desconhecido.

► *fala de agentes*: o agente tutor poderá também falar com outros agentes. Assim, um agente enviará mensagens ao componente gerador de fala, gerando voz, então os outros agentes poderão escutar essas mensagens, detectando seu início. Quando o componente gerador de fala finaliza o contato enviado para um participante humano, ele envia a mensagem comunicando o fato. Portanto, um agente pode também dizer quando outros agentes finalizam a conversação. Além disso, um agente poderá usar tais mensagens para detectar quando sua própria declaração for concluída. Geralmente, essas mensagens não incluem *token* semântico, correspondente a mensagens representantes da fala humana. Em vez disso, os agentes poderão mandar mensagens separadas, representando o conteúdo semântico de sua fala; essas mensagens serão baseadas em *speech acts*¹⁷.

7.3.2 Subsistema domínio cognitivo

Esse subsistema interpretará a entrada recebida do subsistema *domínio de observação e auto-observação*, selecionará metas apropriadas, construirá e executará planos para atingi-las e enviará comandos motores para o controle do corpo do agente tutor.

Para que o agente tutor possa operar numa variedade de domínios, sua arquitetura deverá apresentar uma clara separação entre as capacidades de conhecimento de domínio-independente e as de domínio-específico. Para permitir ao agente tutor operar em um novo domínio, o autor do curso deveria especificar o domínio de conhecimento apropriado, numa linguagem declarativa, que poderia ser projetada para facilitar-lhe o trabalho, já que não deveria, necessariamente, possuir habilidades de

¹⁷Uma abordagem semântica para comunicação de propósito geral de agentes de software é proposta por Labrou e Finn (apud Rickel, Johnson, 1998)

programação de computadores. O domínio de conhecimento do *agente tutor* deveria ser dividido em duas categorias, a saber:

- *conhecimento perceptual*: residirá no subsistema *domínio de observação e auto-observação*, informando o *agente tutor* a respeito dos objetos do mundo virtual, dos atributos relevantes do simulador e, enfim, de suas propriedades espaciais.

- *conhecimento de tarefa*: residirá no sub-sistema *domínio-cognitivo*, informando o *agente tutor* a respeito dos procedimentos necessários para realizar tarefas e fornecerá fragmentos de texto que lhe permitam falar sobre elas.

Para ensinar os estudantes a executar tarefas procedurais de um domínio particular, o *agente tutor* precisará da representação das tarefas, que poderão ser fornecidas pelo autor do curso. Dado um apropriado conhecimento da tarefa para um domínio de conhecimento particular, o agente usará suas capacidades pedagógicas gerais para ensiná-lo aos estudantes. Com tal fim, é que se propõe uma abordagem de arquitetura de sub-sistema de *domínio-cognitivo* organizado em camadas, que permitirá seu uso numa variedade ampla de domínios, pois cada domínio requererá somente a implementação de conhecimentos a respeito das novas tarefas, excetuando qualquer modificação em suas estratégias e táticas de ensino ou habilidades pedagógicas. As camadas do *agente tutor* deverão estar organizadas num *domínio específico de conhecimento* e num *domínio independente de capacidades pedagógicas*.

Alguns STIs representam o conhecimento procedural, das formas seguintes:

- *usando um modelo cognitivo detalhadamente construído com regras de produção*¹⁸, como proposto por Anderson (*apud* Guin, 1991), tais sistemas executam domínios de conhecimento pela execução direta de regras.

- *usando representações declarativas de conhecimento*¹⁹, usualmente em alguma variante de *representação de rede procedural*, como proposto por Sacerdoti (*apud* Rickel, Johnson, 1998, p. 14), especificam os passos do procedimento e sua ordem. Tais sistemas executam tarefas usando um interpretador de domínio-independente para “executar” a rede procedural (por ex., os passos de uma caminhada). A representação de tarefas se fará com planos hierárquicos, em termos de metas e

¹⁸O modelo de regras de produção fornece uma *ontologia* ((Guarino, 1993); (Mizoguzhi, Sinita, Ikeda, 1996)) mais flexível ao custo de sua construção ser muito laboriosa, que se justifica em domínios tais como a álgebra e geometria onde o tutor uma vez construído pode ser usado por usuários diversos durante muitos anos.

¹⁹As representações de redes procedurais são mais práticas para domínios tais como a operação e manutenção de equipamento; procedimentos que podem mudar freqüentemente em tais domínios. O trabalho dos especialistas no domínio de conhecimento pode-se ver facilitado por que o modelo permite flexibilidade na representação, revisão e mudanças necessárias (Rickel, Johnson, 1998).

passos. Cada meta será definida por um par de atributo-valor. O modelo de *agente tutor* poderá representar dois tipos de metas: atributos do mundo virtual e atributos de seus próprios estados mentais.

O subsistema *domínio cognitivo* operará através da execução de um *loop* contínuo, através de um ciclo de decisão²⁰, que será executado múltiplas vezes por segundo.

Alguns aspectos do sub-sistema *de domínio-cognitivo* que podem ser modelados, envolvem a capacidade de *memória episódica*²¹ (Johnson, 1995), de *espaço de restrições* (Fialho, 1994), explicação, *monitoração*²² e avaliação das ações do *estudante*²³, *capacidade de demonstração de tarefas*²⁴, *atribuição de planos situados* (Randall, Johnson, 1995), *revisão e reconhecimento de planos* (Johnson, 1995), *capacidade de aprendizagem de conhecimento procedural do instrutor humano* (Angros, Johnson, Rickel, 1997), etc. Essas capacidades serão empregadas de múltiplas maneiras, em função de suportar a alternativa de *estilos pedagógicos* e aprimorar as ações do agente tutor na sua interação com outros agentes computacionais, ou humanos no mundo virtual (Rickel, Johnson, 1997, p. 1).

²⁰Segundo Rickel e Johnson (1998, p. 17), para o produto STEVE, cada ciclo de decisão completa 5 passos, a saber:

- fase de entrada: toma a última informação do módulo de percepção;
- avaliação da meta: usa a informação perceptual para determinar que metas da tarefa em execução são satisfeitas;
- construção do plano: baseado na valiação da meta, construir um plano para completar a tarefa;
- seleção de operador: selecionar o operador seguinte. Cada operador é representado por um conjunto de regras de produção que implementam o modelo, tais como responder uma questão ou demonstrar uma ação.
- Execução do operador: executa o operador selecionado. Em muitos casos, pode fazer com que o módulo dê cognição de saída a um o mais comando motores.

²¹A memória episódica envolve as seguintes habilidades (Johnson,1995):

- recordar eventos ocorridos durante uma atividade, e;
- recuperar qual foi a situação no momento de ter ocorrido o evento.

A memória episódica é essencial para agentes pedagógicos, por que lhes permite discutir as atividades uma vez finalizadas. Também possibilita sua utilização em outras formas, por exemplo para permitir comparar missões sucedidas ou não sucedidas, e isto significa apreender pela experiência.

²²Um estudante, na tentativa de resolver um problema, pode seguir diferentes planos, em diferentes momentos. Para descobrir a série de idéias seguidas pelo estudante nas ações locais, esses planos devem ser simultaneamente considerados como hipóteses a respeito do processo de raciocínio do estudante, até que apareça uma boa idéia. Para agir desse modo, as hipóteses são comparadas às soluções fornecidas pelos especialistas, que podem ser sustentadas por diferentes pontos de vista. *Uma abordagem multi-agente para a modelagem do estudante fornece um framework natural para a representação e coordenação de soluções e pontos de vista múltiplos e para adaptar o sistema à consideração simultânea de várias alternativas, de acordo com a localização e integridade das ações* (Giroux, Leman, Marcenac, 1996, p. 1).

²³Paiva (1995,1996), considerando o estabelecimento de técnicas para o desenvolvimento das abordagens de agentes, combinados com a crescente importância de novas arquiteturas para sistemas, que possuam sistemas de comunicação mais vigorosos, sugere a necessidade de que o modelo de estudante seja executado de maneira independente.

²⁴Os agentes gerados por computador podem participar das atividades do estudante, podendo executar atividades não relatadas, atuar como observadores, aconselhar ou prestar ajuda quando o estudante encontrar dificuldades (Johnson, 1995).

7.3.3 *Subsistema de Controle motor*

Recebe comandos motores do subsistema *domínio-cognitivo* e deve decompor suas informações em uma seqüência de comandos²⁵ de baixo nível, a serem enviadas a outros componentes via *agente comunicador*. Portanto, o objetivo deste módulo é controlar a aparência e a voz e permitir ao *agente tutor* exercer mudanças no mundo virtual.

O subsistema *de controle motor* deverá aceitar uma variedade de comandos, a saber (Rickel, Jhonson, 1998):

- converter os textos escritos em fala e comunicá-lo a uma pessoa, ou, simplesmente transmiti-los a um agente;
- enviar um “*speech-acts*” a um agente (isto permitiria a compreensão associada a textos);
- mover-se em direção a um objeto;
- olhar para um objeto, pessoa ou agente;
- mover a cabeça em sinal de acordo, perturbação ou desacordo;
- apontar para um objeto;
- mover a mão em posição neutral (por ex., não manipular nem apontar para alguém);
- manipular um objeto.

Para cada ação primitiva existente na biblioteca de ações do subsistema *domínio-cognitivo*, haverá um comando motor correspondente, aceito pelo subsistema de *controle motor*, deverá, também, haver capacidade de adicionar, modificar, ou eliminar ações primitivas da biblioteca.

O agente de *controle motor* deverá mapear esses comandos com mensagens que serão enviadas ao *agente de comunicação* para ocasionar mudanças no mundo virtual. Essas mensagens enviadas são classificadas em categorias, a saber:

- *ações*: algumas mensagens informarão ao *simulador ou gerador de cenários de treinamento* as ações do *agente tutor*, que atuará através dessas mensagens transmitidas pelo componente de interface visual, se a pessoa realizar alguma ação: “tocar” ou “liberar” objetos. Adicionalmente, para manipular objetos que a pessoa possa “tocar” ou “arrastar”, o agente tutor enviará mensagens, especificando o final da manipulação desejada. Por fim, o *simulador ou gerador de cenários de treinamento* responde a tais mensagens pelo movimento gradual de objetos para o ponto final especificado.

²⁵Exemplo: enviar primitivas de animação que movimentem um membro do *agente tutor* para agir sobre um objeto do mundo virtual e depois mandar a mensagem ao simulador para criar os efeitos do movimento do objeto.

• *fala*: quando o *agente de domínio-cognitivo* enviar um comando motor para gerar fala, o *subsistema de controle motor* enviará a mensagem correspondente para o *agente de comunicação de mensagens*, que ocasionará a ação apropriada dos componentes para gerar a fala. O agente tutor poderia, também, ser dotado de capacidade de configuração de voz²⁶.

• *animação corporal*: o *agente tutor* deve suportar um conjunto de primitivas de comandos de controle corporal. O subsistema de *controle motor* converterá, assim, os comandos motores do *agente domínio-cognitivo* em algumas combinações desses comandos primitivos. Cada um desses comandos primitivos possibilitará ao *agente tutor* transmitir mensagens de baixo-nível a partir do componente de interface visual objetivando mover ou rotear as partes do corpo do *agente tutor*. A habilidade para mudar totalmente o corpo do agente tutor pode enriquecer o modelo e ser realizada através de um conjunto de primitivas que permitam experimentar sua utilização em diferentes corpos, já que, no ensino de tarefas físicas, algumas formas humanas são mais apropriadas ou características que outras.

Algumas especificações adicionais relativas ao controle do corpo do *agente tutor* poderão envolver ainda o controle de: locomoção, olhar, demonstração das emoções²⁷ e movimentos das mãos, entre outras funções pertinentes a cada aplicação específica. Algumas dessas especificações devem ser explicitadas no agente *domínio-cognitivo*, outras deverão ser geradas pelo agente de *controle motor* durante a execução de alguns comandos motores.

A arquitetura descrita, é apresentada graficamente na figura 58.

Outra variante do modelo, explicada brevemente, consistiria em tomar a *proposta de arquitetura aberta, para a simulação de entidades autopoieticas* (Fialho (1994, p. 367) para modelar o ambiente inteligente de educação, da forma a seguir: o processador primário, através de uma variante da arquitetura de agentes de tipo Sociedade de Estados Mentais – SEM, proposta por Corrêa (*apud* Oliveira, 1996), dotará o *agente tutor* da capacidade de atuar no seu meio, executando as tarefas e atividades que lhe permitirão satisfazer suas fomes, ditadas pelos estados mentais²⁸. Para a modelagem do processador secundário, correspondente à regulação, ao controle de execução de tarefas e ao espaço de restrições e memória episódica, podem ser usadas as referências citadas no modelo descrito acima. A dimensão física e as entidades, atributos e vínculos com outras entidades poderão ser modeladas num mundo virtual com

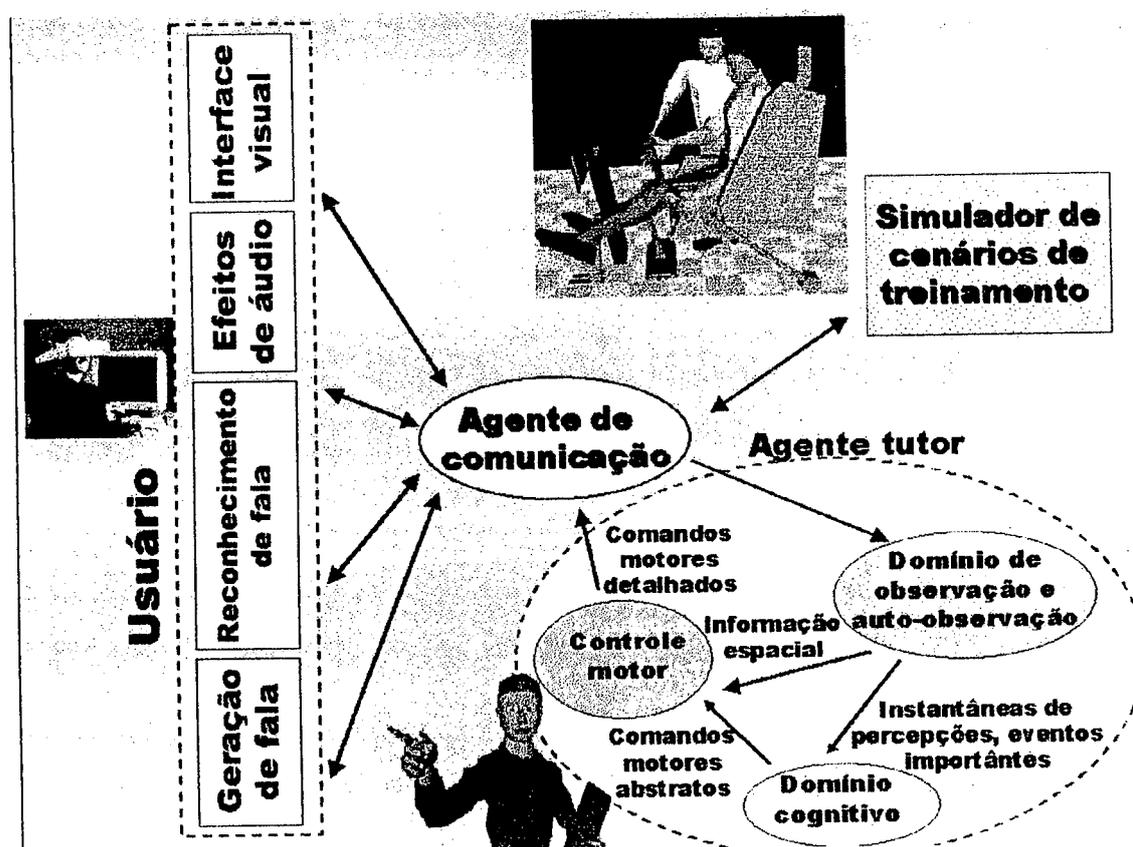
²⁶ Gênero, modulação de voz, etc.

²⁷ Neste tipo de arquiteturas, a personalidade de um agente, é baseada na sua forma de ver o mundo, e nas mudanças parciais determinadas pelas metas, valores e gostos que ele tem. Em qualquer paradigma tradicional, é necessário descrever a personalidade dos agentes automatizados em termos que emergem das situações, caracterizadas por conjuntos de metas, princípios e preferências no contexto do domínio (Elliot, Rickel, Lester, 1997).

²⁸ Ver, acreditar, desejar e lembrar como proposto por Searle (1995, p. 75).

a tecnologia da RV e com as Tecnologias Orientadas a Objetos ((Rumbaugh, *et. al.*, 1996), Coad e Yourdon (1992)). A dimensão afetiva pode ser modelada, conforme idéias propostas por Elliot, Rickel e Lester (1997), Maturana e Nisis (1997). A dimensão cognitiva modelar-se-á conforme a adaptações realizadas no modelo proposto acima. A dimensão espiritual não poderia ainda ser modelada *por falta de representações para essa dimensão* (Fialho, 1994), além de que, devido ao propósito específico do agente tutor, esta dimensão pode ser deprezível, considerando a simplificação e diminuição de custos computacionais. Os domínios Lingüístico, cognitivo, condutal, de observação, e de auto-observação podem ser modelados através de variantes e adaptações nos subsistemas do modelo proposto acima.

Fig. 58: Arquitetura de ambiente inteligente de educação, baseada em RV.



A possibilidade de continuar a exploração desta apaixonante linha de pesquisa, na procura de ferramentas de extrema utilidade para tarefas educacionais e de treinamento de unidades autopoiéticas humanas, fica inteiramente depositada nas mãos do(a) leitor(a). Espera-se que esta modesta contribuição do autor, tenha servido de estímulo para uma viagem através desse universo, que a imaginação e o engenho humano são capazes de recriar, partindo da observação e investigação dos fenômenos naturais, inspiradores de crenças divinas.

8 CONCLUSÕES E SUGESTÕES.

A seguir, seguem algumas conclusões e sugestões alcançadas durante o desenvolvimento deste trabalho.

8.1 CONCLUSÕES

As conclusões às quais a pesquisa permitiu chegar, são:

- O modelo ilustra o enorme potencial da combinação das linhas de pesquisa da Realidade Virtual imersiva e das técnicas inteligentes. Um modelo desta natureza seria capaz de sentir o estado do mundo, avaliar as metas das tarefas, construir e revisar planos e, enfim, enviar comandos motores para o controle do mundo virtual, tudo isso executado em um ciclo de múltiplas vezes por segundo. Tal modelo está projetado para trabalhar com gráficos de computador e seria capaz de controlar a animação de seu corpo, incluindo locomoção, gestos, olhares, demonstrações de ações e de afeto. Ele seria capaz, também, de incorporar todas essas ações nas táticas e estratégias de ensino, que podem consistir em tarefas de explicação e demonstração, monitoração dos estudantes e respostas a questões. Essas combinações de características e tecnologias fornecem um tutor de nova geração: um agente semelhante a uma unidade autopoiética humana, que poderá interatuar com os estudantes no mundo virtual para auxiliá-los no processo de construção de conhecimento em primeira mão.

- A criação de ambientes inteligentes de aprendizagem construtivista, baseados na experiência direta do aprendiz e do paradigma da educação colaborativa, é um assunto complexo que demanda experiência e participação de diversas fontes de saber. É por isto que para o desenvolvimento desta classe de sistemas, mostra-se necessário o emprego do método de trabalho em equipe multidisciplinar, que inclua especialistas de diversos campos: da pedagogia, da psicologia educativa, do domínio de conhecimento que se pretende ensinar, de técnicos no projeto gráfico e artístico, da programação de computadores, da Multimídia, da Realidade Virtual, da Informática, da Ergonomia e da gerência de projetos, entre outros.

- Sugere-se que as propostas de implementação de situações de ensino, baseadas em RV, deverão estar fundamentadas nas abordagens construtivistas do ensino-aprendizagem-colaborativa

sugeridas pela teoria sociobiológica de Maturana e Varela (1972, 1992) e da biologia do educar de Maturana e Nisis (1996), que facilitam e incentivam a aprendizagem.

- A imersão virtual introduz novos recursos para a intercomunicação e envolve novas e poderosas formas de interpretação da realidade, de extrema utilidade na educação e formação de recursos humanos.

- O emprego da RV, associada a tecnologias inteligentes, possibilita a construção de ferramentas educativas de extraordinário valor em domínios, onde a formação e capacitação seja custosa ou perigosa na vida real, já que pode fornecer estímulos perceptuais mais realistas, como por ex., visuais, auditivos e *haptics*.

- A motivação, na aprendizagem, pode ser estimulada de muitas formas. O aprendiz pode estar inclinado a alcançar uma meta, por interesse pessoal, entusiasmo ou pressão, baseado no prazer da competição, descoberta ou imitação de modelos de referência.

- A motivação interna consiste na tentativa de confirmar o conhecimento já adquirido, enfrentando pressupostos (por ex., o *troublemaker* (Aimeur, Frasson, 1996), recurso empregado nas estratégias de ensino assistidas por computador). Tal tentativa de confirmação não se refere somente ao tipo de conhecimento, mas também a todos os outros elementos a ele relacionados. A principal meta deste tipo de motivação deve ser evitar a desestabilização do ego do aprendiz.

- A motivação externa é guiada pela necessidade de o aprendiz mostrar que está certo em relação a outras pessoas e sua principal meta é a eliminação do sentimento de inferioridade e o estímulo da competição.

- A forma de diálogo, que representa um importante componente na interação homem-computador, pode estar restrita a uma direção ou estabelecida em várias direções, entre vários agentes, sejam estes reais ou virtuais.

- Na construção de ambientes de aprendizagem dos novos paradigmas construtivistas, construcionistas e de aprendizagem social, pode-se observar que a mudança dos projetos para o paradigma suportado pela IA distribuída, implica um desafio maior e aumenta o grau de complexidade, uma vez que a questão pedagógica e psicológica são componentes do projeto. A idéia da *interdisciplinaridade* nestes projetos é um fato concreto, sem o qual não se pode trabalhar com qualidade.

- Finalmente, segundo Schank (1997, 163), *o futuro da capacitação organizacional, sem dúvida, será determinado por quão efetivas se tornem essas organizações na capacitação dos seus recursos humanos*. As organizações deverão, em breve, incorporar as simulações por computador e os

cenários de representação de papéis, como parte dos programas de capacitação e das novas formas criativas de relação com os clientes. Muitas destas organizações estão reconhecendo que os métodos tradicionais não funcionam e, portanto, estão adotando, não somente a tecnologia computacional como ferramenta de capacitação, mas também, os princípios do fracasso nas expectativas, os cenários baseados em metas e, finalmente, a idéia verdadeiramente revolucionária, segundo a qual, a aprendizagem deve ser divertida.

8.2 SUGESTÕES

As sugestões são:

- Desenvolver o ambiente inteligente para a educação, que tentou-se modelar neste trabalho, já que existe tecnologia de suporte no mercado. Sugere-se a utilização de paradigmas de Programação de Agentes e Programação Orientada a Objetos.

- As novas tecnologias, disponíveis na RV, devem ser usadas para:

- Captar a atenção do sujeito, motivá-lo ao estudo e reforçar sua aprendizagem, mediante o uso interativo dos diversos recursos, oferecidos pelos Materiais Educativos Computadorizados em Ambientes Virtuais.

- Ministrando a educação à distância.

- É primordial insistir em uma educação contínua, aberta, flexível, à distância e personalizada, que permita ao indivíduo a atualização e adequação dos conhecimentos ao longo de toda sua vida profissional.

- Existe um grande número de habilidades que as organizações desejam ensinar, como vendas, administração, serviços aos clientes, etc. e seria conveniente criar as ferramentas de *software* de simulações e jogos para o ensino destas habilidades. A sofisticação destas ferramentas demandará do *designer* um alto grau de aproximação do ambiente de simulação com a realidade. Sua meta é fazer com que os aprendizes sintam que, de alguma maneira, entrarão num lugar de trabalho virtual, onde os encontros parecerão totalmente “reais” e onde discutirão e interagirão com seus colegas virtuais ou reais.

- O conhecimento gera as habilidades que a empresa requer para desenvolver-se, produzir, vender e fornecer serviço aos clientes, já que num mercado globalizado existem fortes pressões da concorrência. Aspectos como lealdade à marca estão diminuindo, pois a maior parte dos produtos seguem os mesmos padrões de qualidade e o preço depende das elementos opcionais. O conhecimento é, atualmente, um forte ponto de vantagem competitiva na organização.

- A habilidade de capacitar os funcionários nos seus escritórios locais, através da simulação por computador, é altamente atrativa, pois, entre outras vantagens, reduz os índices de rotação e diminui os custos. É necessário considerar, ainda, que as pessoas gostam mais do seu trabalho quando sabem como fazê-lo bem - a pessoa com capacitação deficiente sente-se incompetente, contrastando com a pessoa bem capacitada, que sente-se eficiente e segura.

- Finalmente, as organizações terão que investir mais no desenvolvimento de *software* e aquisição do *hardware* para a execução das simulações nas atividades de educação e capacitação dos funcionários e clientes.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adam, Ainger. *Virtual Reality*. 1996. [Http://www.cs.herts.ac.uk/~csc1cq/vr.html](http://www.cs.herts.ac.uk/~csc1cq/vr.html)
- Agnar, Aamodt. *Foundational issues, methodological variations, and system approaches*. 1996: <http://www.iiia.csic.es/People/enric/AICom.html>
- Akhras, F. Self, J. *From the process of instruction to the process of learning: constructivist implications for the design of intelligent learning environments*. 1996. [Http://www.cbl.leeds.ac.uk/~fabio/home.html](http://www.cbl.leeds.ac.uk/~fabio/home.html)
- Aimeur, Esma. Frasson, Claude. *Analyzing a new Learning strategy according to different knowledge levels*. Computers Education. Vol. 27, No. 2. P. 115-127.
- Anderson, J.R. Boyle, C.F., Yost, G. *The geometry tutor*. Proceedings of the Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence. Los Altos. Morgan Kaufmann Publishers.. 1985. p. 1-7.
- Andre, E.; Muller, J.; Rist, T. *Life-Like Presentations Agents: A New perspective for Computer Based Technical Documentation*. AI-ED97: Eighth World Conference on Artificial Intelligence in Education - Workshop V: Pedagogical Agents, 8., 1997. **Proceedings...** Kobe: Japan, 1997.
- Angros, Richard. Johnson, Lewis. Rickel, Jeff. *Agents that learn to instruct*. 1997. <http://www.isi.edu/isd/VET/vet.html>
- Arruarte, A. et. al. *Knowledge Reusability: Some Experiences in Intelligent Tutoring Systems*. 1996: <http://advlearn.lrdc.pit.edu/its-arch/papers/arruarte.html>
- Aukstakalnis, Steve. Blatner, David. *Silicon mirage- The art and science of virtual reality*. 1992. [Http://www4.id.it/decoder/dcdbbs/network/snhtml/ipertest/metanet/txtl/3dsound.htm](http://www4.id.it/decoder/dcdbbs/network/snhtml/ipertest/metanet/txtl/3dsound.htm)
- Borges, Edmar Lourenço. Borges, Marcos Augusto Francisco. Baranauskas, Maria Cecília Calani. *Da simulação à criação de modelos - um contexto para a aprendizagem na empresa*. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMATICA NA EDUCAÇÃO, VI, Florianópolis - SC - Brasil, 1995. p. 154-165.
- Bruckman, Amy. Resnick, Michel. *The Media MOO project: constructionism and professional community*. 1995. [Http://asb.www.media.mit.edu/people/asb/convergence.html](http://asb.www.media.mit.edu/people/asb/convergence.html)
- Bruckman, Amy. *MOOSE Crossing: construction, community, and Learning in a networked virtual world for kids*. PhD Dissertation. MIT Media Lab. 1997. <http://asb.www.media.mit.edu/people/asb/thesis/index.html>
- Casas, Luis Alberto Alfaro. *Modelagem de um gerador de materiais educativos computadorizados num ambiente de multimídia*. Florianópolis, 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção - Departamento de Engenharia de produção e Sistemas) Universidade Federal de Santa Catarina.
- _____. *Contribuições para a modelagem de um ambiente inteligente de educação baseado em realidade virtual*. Florianópolis, 1997. Exame de qualificação (Doutorado em Engenharia de Produção - Departamento de Engenharia de produção e Sistemas) Universidade Federal de Santa Catarina.

- Casas, Luis Alberto Alfaro. Bridi, Vera Lúcia. Fialho, Francisco Antonio Pereira. *Construção de conhecimento por imersão em ambientes de Realidade Virtual*. Ed. Angelo de Moura Guimarães. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, VII, Belo Horizonte - MG - Brasil, 1996. p. 29- 43.
- _____. *Virtual reality full immersion techniques for enhancing workers performance*. In: _____. *Virtual reality full immersion techniques for enhancing workers performance*. Edited by: Luis Camarinha-Matos. Proceedings of the OE/IFIP/IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTEGRATED AND SUSTAINABLE INDUSTRIAL PRODUCTION, 1, Lisboa, Portugal, 1997. p. 399-411. ISBN: 0 412 79950 2.
- Casas, Luis Alberto Alfaro. Fialho, Francisco Antonio Pereira. Maia, Luiz Fernando Jacintho. *Ambientes inteligentes para la educacion basados en realidad virtual*: _____. Editado por: Universidad de Aquino. Anais: III CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA COMPUTACION - CICC'98, 5, La Paz, Bolivia, 1998. 32 p.
- Coad, Peter. Yourdon, Edward. *Análise Baseado em Objetos*. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda., 1992. 223 p. ISBN 86-7001-700-6.
- Cook, J. *An Empirically Based mentoring Agent for Supporting Music Composition Learning*. AI-ED97: Eighth World Conference on Artificial Intelligence in Education - Workshop V : Pedagogical Agents, 8., 1997. *Proceedings...* Kobe: Japan, 1997.
- Corredor, Martha Vitalia M. *Sistemas tutoriales inteligentes*. Boletín de Informática Educativa. Colombia. Proyecto SIII. Vol. 2, N° 1. 1989.
- Costa, Antônio Carlos da Rocha. *Inteligência Artificial Construtivista: principios gerais e perspectivas de cooperação com a informática na educação*. Porto Alegre. Instituto de Informática UFRGS. 1995.
- Costa, E. B. *Um modelo de Ambiente Interativo de Ensino-Aprendizagem baseado numa Arquitetura Multi-Agentes*. Campina Grande, 1997. Exame de Qualificação (Doutorado CPGEE), UFPA.
- Costa, R., Werneck, V. *Tutores Inteligentes*. Rio de Janeiro: COPPE /UFRJ, 1996.
- Costa, E.B.; Perkusich, A. *A Multi-Agent Interactive Learning Environment Model*. AI-ED97 : Eighth World Conference on Artificial Intelligence in Education - Workshop V : Pedagogical Agents, 8., 1997. *Proceedings...* Kobe: Japan, 1997.
- Chandler, Daniel. *Texts and the construction of meaning*. 1995.
[Http://www.aber.ac.uk/~dgc/texts.html](http://www.aber.ac.uk/~dgc/texts.html)
- Chorafas, Dimitris N. Steinmann, Heinrich. *Realidad Virtual. Aplicaciones prácticas en los negocios y la industria*. Mexico: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A, 1996. 317 p. ISBN 968-880-683-8.
- Djamen, Jean-Yves. Frasson, Claude. Kaltenbach, Marc. *An architecture for an effective intelligent automated instruction*. 1996 : <http://www.iro.umontreal.ca/people/djamen/its96w2.ps>
- Dede, Chris. *Emerging technologies and distributed learning*. 1996.
<http://www.virtual.qmu.edu/ajdepdf.htm>
- _____. *The Evolution of Constructivist Environments: Immersion in Distributed, Virtual worlds*. 1995. <http://www.virtual.amu.edu/pdf/constr.pdf>
- _____. *The evolution of learning devices: smart objects, information infraestrutures, and shared syntethic environments*. 1995a: <http://tecfa.unige.ch/edu-comp/biblios/VR-Education-Bibl.html>
- Dede, Cris. Lewis, Matthew. *Assessment of emerging educational technologies that might assist and enhance school-to-work transitions*. 1995. <http://www.virtual.qmu.edu/pdf/ota.pdf/>

- Dede, Cris. Salzman, Marilyn C. Loftin, R. Bowen. *ScienceSpace: Virtual realities for learning complex and abstract scientific concepts*. 1995. <http://www.virtual.qmu.edu/vriaspdf.htm>
- _____. *ScienceSpace: Research on using Virtual reality to enhance science education*. 1995a. <http://www.virtual.qmu.edu/edmedpdf.htm>
- _____. *The development of a virtual world for learning newtonian mechanics*. 1995b. <http://www.virtual.qmu.edu/sprinpdf.htm>
- Dember, William. *Human perception*. The New Encyclopaedia Britannica. Chicago. Encyclopaedia Britannica, inc. 1980.p. 481-488.
- Dillenbourg, et. al. *Intelligent Learning Environments*. Carouge - Switzerland. TECFA (Technologies de Formation et Apprentissage). Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education. University of Geneva (Switzerland), 1993. 34 p.
- _____. *The Design of MOO Agents: Implications from an Empirical CSCW Study*. AI-ED97: Eighth World Conference on Artificial Intelligence in Education - Workshop V: Pedagogical Agents, 8., 1997. *Proceedings...* Kobe: Japan, 1997.
- Düntsch, Ivo. Gediga, Günter. *The rough set analysis . introduction and overview*. 1996. [Http://www.ps.psycho.um-osnabrueck.de/ggediga/www/papers/rouhint.zip](http://www.ps.psycho.um-osnabrueck.de/ggediga/www/papers/rouhint.zip)
- _____. *Simple data filtering in rough set systems*. 1996a. <http://www.psycho.uni-osnabrueck.de/ggediga/www/bininf.html>
- Dresher, Gary. *Made-up mins: a constructivist approach to Artificial Intelligence*. Massachusset. MIT Press. 1991.
- Eco, Umberto. *Interpretação e superinterpretação*. São Paulo: Martin Fontes, 1993. 183 p.
- El-Sheik, Eman. Kamel, Ahmed. Sticklen, Jon. *An ITS shell leveraging the generic task approach to problem solving*. 1996: <http://advelearn.lrdc.pitt.edu/its-arch/papers/el~sheikh.html>
- Elliot, Clark. Rickel, Jeff. Lester, James C. *Integrating affective computing into animated tutoring agents*. 1997. <http://condor.depaul.edu/~elliot>
- Fernandez, M. Kumpel, D. Lopez, A. De la Rica. Villa, A. de la. *Multimedia y pedagogía. Un binomio Actual*. Editado por: RIBIE. Proceedings del II CONGRESO COMPUTADORAS EDUCACIÓN Y SOCIEDAD, Santo Domingo, República Dominicana 1992.
- Fialho, Francisco Antonio Pereira. *Modelagem computacional da equibração das estruturas cognitivas como proposto por Jean Piaget*. Florianópolis, 1994. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas) Universidade Federal de Santa Catarina.
- Flores, Fernando. *Inventando la empresa del siglo XXI*. Novena edición. Santiago de Chile: Alfabetá Impresores, 1996. 107 p. ISBN: 956-201-079-0.
- Flores, Fernando. Winograd, Terry. *Hacia la comprensión de la informática y la cognición. Ordenadores y conocimiento para el diseño del siglo XXI*. Barcelona. Editorial Hispano Europea. S.A. Colección ESADE. 1989. 266 p.
- Franklin, S.; Graesser, A. *Is it an Agent, or just a Program?: a taxonomy for Autonomous Agents*. 1997. <http://www.mscl.menphis.edu/~franklin/AgentProg.html>
- Frasson, C.; Mengelle, T.; Aimeur, E. *Using Pedagogical Agents in a Multi-Strategic Intelligent Tutoring System*. In: AI-ED97: Eighth World Conference on Artificial Intelligence in Education - Workshop V: Pedagogical Agents, 8., 1997. *Proceedings...* Kobe: Japan, 1997.
- Freinet, C. *Pedagogia de bom senso*. Lisboa. Martins Fontes. 1988. 125 p.

- _____. *O método natural I. a aprendizagem da língua*. Lisboa. Editorial estampa. (ISBN 972-33-0826-6). 1989. 405 p.
- _____. *O método natural II. a aprendizagem do desenho*. Lisboa. Editorial estampa. 1977. 388 p.
- _____. *O método natural III. A aprendizagem da escrita*. Lisboa. Editorial estampa. (ISBN 972-33-0828-2). 1989a. 168 p.
- Freinet, Elise. *Nascimento de uma pedagogia popular. Os métodos Freinet*. Lisboa. Editorial estampa. 1969. 472 p.
- Freire, Paulo. *Pedagogia da esperança. Um reencontro com a pedagogia do oprimido*. Rio de Janeiro. 1993. 245 p.
- Freire, Paulo. Shor, Ira. *Medo e ousadia. O cotidiano do professor*. 2 ed.. Rio de Janeiro. Paz e Terra. 1987. 224 p.
- Freitas, Mara Teresa de Assunção. *Vygotsky e Bakhtin. psicologia e educação um hipertexto*. São Paulo: Ed. Ática S.A., 1994. 168 p.
- Gadotti, Moacir. *Convite à leitura de Paulo Freire*. São Paulo. Editora Scipione Ltda. 1989. 175 p. ISBN 85-262-1476-4
- Gagne, Robert M. Briggs, Leslie J. Wager, Walter W. *Principles of instructional design*. Orlando, Florida. Harcourt Brace Jovanovich College Publishers. 1992.
- Gagné, Robert M. *Princípios Essenciais da Aprendizagem para o Ensino*. Porto Alegre, Globo, 1980.
- _____. *Como se realiza a aprendizagem*. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora AS. 1974. 270 p.
- Galvis, Alvaro H. Panqueva. *Materiales educativos computadorizados: ¿ocación para repensar los ambientes educativos?*. CONGRESO "COMPUTADORA, EDUCACION Y SOCIEDAD", 1, Santo Domingo - República Dominicana, 1992. *Anais* Santo Domingo. p. 245 - 277.
- Gaonac'h, Daniel. *Les théories clasiques de l'apprentissage*. Manuel de psychologie pour l'enseignement. Paris. HACHETTE Livre. 1995. p. 26-49. ISBN 2-01-170360-3
- Gaonac'h, Daniel. Passerault, Jean-Michel. *La psychologie cognitive*. Manuel de psychologie pour l'enseignement. Paris. . HACHETTE Livre. 1995. p. 26-49. ISBN 2-01-170360-3.
- Giraffa, Lucia Maria Martins. *Seleção e adoção de Estratégias de Ensino em Sistemas Tutores Inteligentes*. Porto Alegre, 1997. **Exame de Qualificação (Doutorado em Ciência da Computação**. Instituto de Informática) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 127 P.
- _____. *Selecting teaching strategies using pedagogical agents*. Porto Alegre, 1998. **Proposta de tese (Doutorado em Ciência da Computação**. Instituto de Informática) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 77 P.
- _____. *The Use of Agents Techniques on Intelligent Tutoring Systems*. 1998. <http://www.inf.pucrs.br/~giraffa/lucia.html>
- Giraffa, L.M.M.; Nunes, M. A.; Viccari, R.M. *Multi-Ecological: an Intelligent Learning Environment using Multi-Agent architecture*. MASTA'97: Multi-Agent System: Theory and Applications. *Proceedings...* Coimbra: DE-Universidade de Coimbra, 1997.
- Giroux, S. Leman, S. Marcenac, P. *Representing Organizational Student models: A generic concurrente coordination*. 1996. <http://advelearn.lrdc.pitt.edu/its-arch/papers/leman.html>
- Giusta, Agnela da Silva. *Concepções de aprendizagem e práticas pedagógicas*. Educ. Ver. Belo Horizonte (1). 24.3. Jul. 1985.

- Good, Thomas. Brophy, Jere. *Psicología educativa contemporánea*. Quinta edición. Mexico: Mc. Graw Hill/Interamericana Editores, S.A. 1997, 575 p. ISBN 970-10-0884-7.
- Graham, Ian. *Métodos orientados a objetos*. Segunda edición. Wilmington, Delaware: Addison-Wesley Iberoamericana, S.A. 1996. 610 p. ISBN 0-201-65355-9
- Guillon, Antonio Bias Bueno. Mirshawka, Victor. *Reeducação. Qualidade, produtividade e criatividade: caminho para a escola exelente do século XXI*. Makron Books do Brasil. São Paulo, 1994.
- Guine, Madame Dominique. *Nécessité d'une spécification didactique des environnements informatiques d'apprentissage*. Cachan. Les Editions de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan. 1991. 262 p.
- Heylighen, F. *Epistemological constructivism*. In: _____. *Principia cybernetica web*. 1997. [Http://138.184.101/construct.html](http://138.184.101/construct.html)
- Hietala, P.; Niemirepo, T. *Collaboration with Software Agents: What if the Learning Companion Agent Make Errors?* AI-ED97: Eighth World Conference on Artificial Intelligence in Education - Workshop V: Pedagogical Agents, 8., 1997. *Proceedings...* Kobe: Japan, 1997.
- Hilgard, Ernest. *Teorias da aprendizagem*. São Paulo. Editora Pedagógica Universitaria Ltda. 1975. 692 p.
- Johnson, Lewis W. *Pedagogical Agents*. 1998. <http://www.isi.edu/isd/VET/vet-body.html>
- _____. *Plan recognition in a situational context*. 1995: <http://www.isi.edu/isd/johnson.html>
- _____. *Pedagogical agents in virtual learning environments*. 1995: <http://www.isi.edu/isd/johnson.html>
- Karlgren, Klas. Ramberg, Robert. *Language use & conceptual Change in Learning*. 1996. <Http://www.dsv.su.se/~robban/euro2.html>
- Klir, George J. Yuan, Bo. *Fuzzy sets and fuzzy logic. theory and applications*. Upper Sadle River, NY. Prentice Hall Inc. 1995. 573 p. ISBN 0-13-101171-5.
- Kosko, Bart. Dickerson, Julie. *Fuzzy virtual worlds*. AI EXPERT. July 1994.
- Lévy, Pierre. *O que é o virtual?*. Trad. De Paulo Neves. São Paulo: Editora 34, 1996. 160 p.
- Laurillard, Diana. *How can interactive multimedia enhance learning?*. 1998. <http://www.niee.ufrgs.br/ribie98>.
- Lester, J. et. al. *Mixed Initiative Problem Solving with Animated Pedagogical Agents*. AI-ED97 : Eighth World Conference on Artificial Intelligence in Education - Workshop V : Pedagogical Agents, 8., 1997. *Proceedings...* Kobe: Japan, 1997.
- Lewis, W. J. Shaw, E. *Using Agents to Overcome Deficiencies in Web-Based Courseware*. AI-ED97: Eighth World Conference on Artificial Intelligence in Education - Workshop V : Pedagogical Agents, 8., 1997. *Proceedings...* Kobe: Japan, 1997.
- Leroux, P. *Co-operation between a Pedagogical Assistant, a Group of Learners and a Teacher*. In: Euro AI-Ed - European Conference on Artificial Intelligence in Education, 1996. Brna, P et alii (Eds.). *Proceedings...* Lisboa: Colibri, 1996.
- Loftin, R. Bowen. Saveli, Robert T. *Advanced Training Systems for the next decade and beyond*. 1991. <Http://www.vetl.uh.edu/ICAT/atsndb.html>
- Luckin, Rosemary. *TRIVAR: exploring the "zone of proximal development"*. 1996. <Http://www.cogs.susx.ac.uk/users/rosel/europarer.html>
- Mankin, Eric. *Computers learn to match wits with humans*. 1996. <Http://www.isi.edu/isd/VET/vet.html>

- Manetta, Carol. Blade, Richard. *Glossary of virtual reality terminology*. 1996.
<http://www.ijvr.uccs.edu/manetta.htm>
- Mattos, Maria Isabel Leme de. *Métodos de pesquisa de processos cognitivos*. Série Ciência Cognitiva - 20. São Paulo. USP Instituto de Estudos Avançados. 1994. Pag. 93-98.
- Maturana, Humberto R. *Emociones y lenguaje en educación y política*. Sexta edición. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, 1992a. 98 p.
- _____. *Reflexiones: Aprendizaje o deriva ontogénica*. In: _____ Desde la biología a psicología. Maturana, Humberto R. Santiago de Chile: Editorial Mitech Ltda. Ediciones Synthesis, 1993. p. 82-102. ISBN: 956-7335-01-X
- _____. *Biology of language: the epistemology of reality. Psychology and biology of Language and thought: essays in honor of eric lenneberg*. New York. George. A. Miller and Elizabeth Lenneberg (Eds), Academic Press. 1978.
- _____. *El sentido de lo humano*. Cuarta reimpresión. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, 1994. 315 p. ISBN: 956-201-115-0.
- _____. *La objetividad. Un argumento para obligar*. Santiago de Chile: Dolmen Ediciones. 1997. 149 p. ISBN: 956-201-286-7.
- Maturana, Humberto R. Bloch, Susana. *Biología del emocionar y alba emoting. Respiración y emoción bailando juntos*. Santiago de Chile: Dolmen Ediciones S.A., 1996. 366 p. ISBN: 956-202-288-3.
- Maturana, Humberto R.. Guiloff, Gloria. *En búsqueda de la inteligencia de la inteligencia*. Santiago de Chile. Editorial Mitech Ltda. Ediciones Synthesis. 1992. P. 59-81.
- Maturana, Humberto R. Nisis, Sima. *Formación humana y capacitación*. Segunda edición. Santiago de Chile: Dolmen Ediciones, 1997. 127 p. ISBN 956-201-267-0
- Maturana, Humberto R. Varela, Francisco G. *El árbol del conocimiento*. Octava Edición. Santiago de Chile. Editorial Universitaria. 1992. 172 p.
- _____. *De máquinas y seres vivos - una teoría sobre la organización biológica*. Santiago de Chile. Editorial Universitaria S.A. 1972. 121 p.
- Mazzone, J. *O sistema "enxuto" e a educação no Brasil. Em computadores e conhecimento - Repensando a educação*. J.A. Valente (ed), Gráfica Central da Unicamp. Campinas. 1993.
- Mitsuru, I. et. al. *Opportunistic Group Formation*. In: AI-ED97: Eighth World Conference on Artificial Intelligence in Education - Workshop V: Pedagogical Agents, 8., 1997. **Proceedings...** Kobe: Japan, 1997.
- Mizoguchi, Riichiro. Sinitza, Caterine. Ikeda Mitsuru. *Task ontology design for intelligent educational/training systems*. 1996: <http://advelearn.lrdc.pitt.edu/its-arch/papers/mizoguchi.html>
- Morin, J.F.; Lelouche, R. *Tutoring Knowledge Modelling as Pedagogical Agents in an ITS*. AI-ED97: Eighth World Conference on Artificial Intelligence in Education - Workshop V : Pedagogical Agents, 8., 1997. **Proceedings...** Kobe: Japan, 1997.
- Munro, A. Surmon, D. Primitive simulation-centered tutor services. AI-ED97: Eighth World Conference on Artificial Intelligence in Education - Workshop: Architectures for intelligent simulation-Based Learning Environments, 8, 1997. **Proceedings...** Kobe: Japan, 1997.
- Murray, W.R. *Knowledge-based Guidance in the CAETI Centre Associate*. AI-ED97 : Eighth World Conference on Artificial Intelligence in Education - Workshop V : Pedagogical Agents, 8., 1997. **Proceedings...** Kobe: Japan, 1997.

- Odegard, Ola. *Telecommunications and social interaction - social construction in virtual space*. 1993. <http://www.fou.telenor.no/tele.vr/brukerelolao/telektronick.html>
- _____. *Virtual reality - A shift of paradigm in technology and social interaction*. 1995a: ola.odegard@fou.telenor.no
- _____. *Virtual Reality research and applications in the nordic countries*. 1995b: ola.odegard@fou.telenor.no
- Oliveira, Flávio Moreira de. *Critérios de equilíbrio para sistemas tutores*. Porto Alegre, 1994. Tese (Doutorado em Ciência da Computação. Instituto de Informática) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 68 p.
- Oliveira, Flávio Moreira de. Viccari, Rosa Maria. *Are learning systems distributed or social systems?*. EUROPEAN CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION, I, Lisboa - Portugal. 1996. [Http://cbl.leeds.ac.uk/~euroaied/sessions.html](http://cbl.leeds.ac.uk/~euroaied/sessions.html)
- Paiva, A. *Communicating with learner modeling agents*. 1996: <http://www.cbl.leeds.ac.uk/~amp/MyPapers/its96-ws.html>
- _____. *Towards a consensus on the communication between user modeling agentes and alpication agents*. 1995: <http://www.cbl.leeds.ac.uk/~amp/MyPapers/kc.ps>
- Parsons, Simon. Kubat, Miroslav. *A fist order logig for reasoning under uncertainly using rough sets*. 1996. [Http://www.elec.qmw.ac.uk/~sp/papers/journals/jim.html](http://www.elec.qmw.ac.uk/~sp/papers/journals/jim.html)
- Passos, Lopes Emmanuel. *Inteligência artificial e sistemas especialistas ao alcance de todos*. Rio de Janeiro: Sociedade Cultural e Beneficente Guillerme Guinle. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora. 1989. 196 p.
- Pawlak, Zdzislaw. *Rough sets : theoretical Aspects of reasoning about data*. The Netherlands. Kluwer Academic. 1991.
- Pawlak, Zdzislaw. *Rough sets present state and further prospects*. WORKSHOP "THE THIRD INTERNATIONAL WORKSHOP ON ROUGH SET AND SOFT COMPUTING (RSSC'94), 3, California - USA, 1994. *Anais* California : AAI, EPRI, IAMCS, ISF, IEEE, and SJSU. p. 72-76.
- Perez, Gerardo. *Introducción a la Realidad Virtual*. 1995: <http://148.201.1.19./virtual/0la.html>
- Piaget, Jean. Gréco, Pierre. *Aprendizagem e Conhecimento*. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1974.
- Pilkington, Rachel. *Grierson, Alec. Generating explanations in a simulation-based learning environment*. International Journal of Human Computer Studies. Vol. 45. No 5. 1996. p. 553-578. ISSN 1071-5819.
- Pspotka, Joseph. *Immersive training systems: immesion in virtual reality and training*. 1996 - 31 Jan: <http://205.130.63.7/vrTraining.html>
- Pspotka, Joseph. *Immersive tutoring system: virtual reality and education and training*. 1995. 31 Jan. <http://205.130.63/its.html>.
- Pspotka, Joseph. Davison, Sharon *Cognitive factors associated with immersion in virtual environments*. 1996a- 29 Abril. <http://205.130.63.7/vrfopub.htm>
- Ramos, Edla Maria Faust. *Análise ergonômica do sistema hiperNet buscando o aprendizado da cooperação e da autonomia*. Florianópolis, 1995. 200 p. Projeto de tese. (doutorado em Engenharia de Produção - Departamento de Engenharia de produção e Sistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- Ramos, Edla Maria Faust. *Análise ergonômica do sistema hiperNet buscando o aprendizado da coperação e da autonomia*. Florianópolis, 1996. 356 p. Tese. (doutorado em Engenharia de

- Produção - Departamento de Engenharia de produção e Sistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- Randall, Hill. Johnson, Lewis. *Situated plan attribution*. 1995. <http://www.isi.edu/isd/VET/vet.html>
- Reye, Jim. *Reusability via Formal Modelling*. 06/1996.
<http://advelearn.lrdc.pitt.edu/its-arch/papers/reye.html>
- Reinhardt, A. "As novas formas de aprender". Byte, Maço. 1995.
- Richard, Jean-Francois. *Les activités mentales. Comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris. Armand Colin. 1990.
- Rickel, J.; Johnson, W.L. *Animated agents for procedural training in virtual reality: perception, cognition, and motor control*. 1998. <http://www.isi.edu/isd/VET/vet.html>
- _____. *Integrating pedagogical capabilities in a virtual environment*. 1997.
<http://www.isi.edu/isd/VET/vet.html>
- _____. *Intelligent tutoring in virtual reality: a preliminary report*. 1997a.
<http://www.isi.edu/isd/VET/vet.html>
- Rios, Homero Figueroa. *Potencial de la Realidad Virtual* : 1994.
<http://www.lania.xalapa/spanisch/publications/newsletters/fall947/index.html>
- Ritter, S. *Communication, Co-operation and Competition Among Multiple Tutor Agents*. AI-ED97: Eighth World Conference on Artificial Intelligence in Education - Workshop V : Pedagogical Agents, 8., 1997. *Proceedings...* Kobe: Japan, 1997.
- Rodrigues, Norberto. *Correlações entre modelos neurais e modelos cognitivos perspectivas e limites*. Série Ciência Cognitiva - 20. São Paulo. USP Instituto de Estudos Avançados. 1994. Pag. 23-32.
- Roussos, M. Johnson, A. Leigh, J. Vasilakis, C. *Constructing collaborative histories within virtual learning landscapes*. 1996.
<Http://www.lce.eecs.uic.edu/NICE/PAPERS/EUROAIED/HTML/aied.html>
- Rowley, Kurt. *Increasing the effectiveness of ITS research development*. 1996:
<http://advelearn.lrdc.pitt.edu/its-arch/papers/koedinger.html>
- Rumbaugh, James. *et. al. Modelado y diseño orientado a objetos. Metodologia OMT*. Madrid: Prentice Hall, Inc. 1991. 643 p. ISBN 0-13-629841-9
- Russel, Stuart. Norvig, Peter. *Inteligencia artificial. Un enfoque moderno*. Mexico: Prentice Hall. 1996. 979 p. ISBN: 968-880-682-X.
- Salzman, Marilyn C. Dede, Cris. Loftin, R. Bowen. *Usability and Learning in educational virtual realities*. 1995. <http://www.virtual.qmu.edu/usabpdf.htm>
- _____. *Learner-centered design of sensorily immersive microworlds using a virtual reality interface*. 1995a. <http://www.virtual.qmu.edu/ajeqpdf.html>
- Schneuwly, B. Bronckart, J.P. *Vygotsky aujourd'hui*. Neuchâtel-Paris. Delachaux & Niestlé. 1985.
- Searle, John R. *Expressão e Significado. Estudos da teoria dos atos de fala*. São Paulo: Martin Fontes, 1995. 294 p. (Col Tópicos).
- _____. John R. *Intencionalidade* Trad. Julio Fisher e Tomás Rosa Bueno. São paulo; Martin Fontes, 1995a. 390 p. (Col. Tópicos).
- Schank, Roger. *Aprendizaje virtual. Un enfoque revolucionário para formar equipos de trabajo altamente capacitados*. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A, 1997. 184 p. ISBN:970-10-1796-X.

- Shadbolt, Nigel. Burton, Mike. *Knowledge elicitation. Evaluation of human work. A practical ergonomics methodology*. London. Edited by Jhon R, Wilson and E. Nigel Corlett. 1992. p. 321-345.
- Shor, Ira. *Educations is politics. Paulo Freire's critical pedagogy*. New York. Edited by Peter McLaren and Peter Leonard. Routledge. 1993. p. 25-35.
- Shukla, Chetan. Vazquez, Michele. Chen, Frank. *Virtual manufacturing : an overview*. THE 19th INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS AND INDUSTRIAL ENGINEERING, 1, Iowa - USA, 1996. Proceedings Iwoa: Computers & industrial engineering. An international Journal, Vol. 31, No. 1/2, october, 1996. ISSN 0360-8352.
- Silva, Tomas Tadeu da. McLaren, Peter. *Konowledge under siege*. The brazilian debate. New York. Routledge. 1993. p. 36-85.
- Silveira, R.A.; Viccari, R.M. *Distance Learning: From The Intelligent Tutor Paradigm To A Multiagents Architecture*. Lectures Notes on Artificial Intelligence - SBIA'98. Oliveira, F.(Ed.). Berlin: Springer Verlag, 1998.
- Smith, Cristoper M. Simth, Lynellen D.S.P. Yang, Steven. *An investigation of current virtual reality interfaces*. Mississipi. 1995. A final Project (Submitted to the faculty os Mississipi State University in the Department of Computer Science).
- Stiles, R.; McCarthy, L. Pontecorvo, M. *Training studio: a virtual environment for training*. In: ___ Workshop on Simulation and Interaction in Virtual Environments (SIVE-95). Iowa City, IW: ACM press, 1995.
- Swam, Greg. Hughes, Billie. *Constructivism: definition and implications for implementation*. 1996. [Http://mcmuse.mc.maricopa.edu/~swan/constructivism.html](http://mcmuse.mc.maricopa.edu/~swan/constructivism.html)
- Tam, E.K. et. al. *WITS: A reusable architecture for a VR-Based ITS*. 1996 : <http://adv.lrdc.pitt.edu/its-arch/papers/tam.html>
- Taille, Yves de La et alli. *Piaget, Vygotsky, Wallon: teorias psicogenéticas em discussão*. São Paulo, Summus, 1992.
- Tavares, Valadares Luis. *Integração dos computadores nas escolas: problemas y estrategias*. CONGRESO: "COMPUTADORA EDUCACION Y SOCIEDAD", 1, Santo Domingo, 1992. Anales...: Santo domingo: CYTED-D, 1992. Tomo II, p. 491-497.
- Tharp. Gallimore. 1998. <http://www.ncrel.org/sdrs/areas/issues/students/learning/lr1zpd.htm>
- Varela, Francisco J. *Conocer. Las Ciencias Cognitivas: tendencias e erspectivas. Cartografía das ideias atuais*. Primera reimpression. Barcelona: Editorial Gedisa S.A. 1996, 120 p. ISBN: 84-7432-383-5.
- Varela, Francisco J. Un puente para dos miradas. *Conversaciones con el Dalai Lama sobre las ciencias de la mente*. Santiago de Chile: DOLMEN EDICIONES, 1997, 318 p. ISBN: 956-201-335-9.
- Vassileva, J. *Goal-Based Pedagogical Agents*. In: AI-ED97: Eighth World Conference on Artificial Intelligence in Education - Workshop V: Pedagogical Agents, 8., 1997. *Proceedings...* Kobe: Japan, 1997.
- Verden-Zölller, Gerda. *El juego en la relación materno infantil: Fundamento biológico de la conciencia de si mismo y de la conciencia social*. In: ___ Amor y Juego. Fundamentos olvidados de lo humano. Maturana, Humberto R. e Verden-Zölller, Gerda. Santiago de Chile: Editorial Instituto de Terapia Cognitiva, 1994. p. 71-136. ISBN: 956-7344-01-9.
- Vygotsky, Lev Semenovietch. *A Formação Social da Mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores*. 2ª ed. São Paulo. Martins Fontes. 1994.

- Wang, W.C.; Chan, T.M. *Experience of Designing an Agent-Oriented Programming Language for Developing Social Learning Systems*. In: AI-ED'97: World Conference on Artificial Intelligence in Education, 8., 1997. *Proceedings...* Tokyo: IOS Press, 1997.
- Wazlawick, Raul Sidnei. *Equilíbrio das estruturas cognitivas*. Florianópolis -SC. Notas de aula INE-CTC-UFSC. 1995. 21 p.
- Waslawick, Raul Sidnei. *Um Modelo Operatório para Construção de Conhecimento*. Florianópolis, 1993. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção - Departamento de Engenharia de produção e Sistemas) Universidade Federal de Santa Catarina. 162 p.
- Wasson, Barbara. *Instructional Planning and Contemporary theories of learning: is this a self-contradiction?*. 1996. [Http://www.ifi.uib.no/staff/barbara/papers/Euroaied96.htm](http://www.ifi.uib.no/staff/barbara/papers/Euroaied96.htm)
- Whitney-Smith, Elin. *Conversation, Education, Constructivism and Cybernetics*. 1996: <http://www.well.com/user/elin/edhom.htm>
- Winn, William. *A conceptual basis for educational applications of virtual reality*. 1993. <http://www.hitl.washington.edu/projects/education/winn/winn-R-93-9.txt>
- Wooldrige, Michael J. Jennings, Nicholas R. *Intelligent Agents: theorie and practice*. 1995: <http://www.doc.mmu.ac.uk/STAFF/mike/ker95.ps>
- Woods, Pamela. Warren, James. *Adapting teaching strategies in intelligent tutoring systems*. 1996: <http://advelearn.lrdc.pitt.edu/its-arch/papers/woods.html>
- Woolfolk, Anita E. *Psicologia educativa*. Sexta edição. Mexico: Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1996. 642 p. ISBN: 968-880-689-7
- Wu, Helen Binghui. *A framework for inteligente tutoring systems* . 1995a. <http://www.eecs.lehigh.edu/bhw/aided.95.ps>
- _____. *Rough set approach to user modeling*. 1995b. <http://www.eecs.lehigh.edu/~bhw2/>
- _____. *Toward building cost-Effective and reusable ITS - a computacional approach*. 1996: <http://www.eecs.lehigh.edu/~bhw2/>
- Yaverbaum, Gayle J. Nadarajan, Uma. *Learning basic concepts of telecommunications: na experiment in multimidia and learning*. Computers education. Vol. 26, No 4, 1996. P. 215-224.
- Zadeh, L.A. *Sylogistic reasoning in fuzzy logic and its application to usuality and reasoning with dispositions*. IEEE transactions SMC/15(6). 1985.
- Zeleny, M. *Parallelism, integration, autocoordination and ambiguity in human suport systems*. In: _____. *Fuzzy ogic in knowledge-based systems decision and control*. 2 ed. Ed. Gupta Madan M e Yamakawa, Takeshi. Amsterdam: Elsevir Science Publishers B.V., 1991. p. 107-123. ISBN: 0-444-70450-7

10. Bibliografia

- Barletta, Ralph. *An introduction to Case-Based Reasoning*. AI expert. August 1991.
- Brazdil, P. Gams, S. Sian, S. Torgo, L. Velde W. van de. *Learnig in distributed systems and multi-agent environments*. 1996: <http://www.up.pt/~itorgo/Papers/LDSME/LDSME.html>
- Franklin, Stan. Graesser, Art. *Is it an agent, or just a program?. A taxonomy for autonomus agents*. INTERNATIONAL WORKSHOP ON AGENT THEORIES, ARCHITECTURES, AND LANGUAGES, III, Springer-Verlag. 1996.
<Http://www.mscl.memphis.edu/~franklin/AgentProg.html>
- Fonseca, Victor da. *Aprender a aprender. A educabilidade cognitiva*. Porto Alegre: Artmed, 1998. 341 p. ISBN: 85-7307-477-9.
- Fosnot, Twomey Catherine. *Construtivismo: teoria, perspectivas e prática pedagógica*. Porto Alegre: ArtMed, 1998. 248. ISBN: 85-7307-425-6.
- Guarino, Nicola. *The ontological level. Philosophy and the cognitive sciences*. Vienna. R. Casati, B. Smith and G. White (eds). Hölder-Pichler-Tempsky. 1994.
- Kolonder, Janet. Mark, William. *Case-Based Reasoning*. IEEE. October 1992.
- Jennings, Nick. Wooldridge, Michael. *Software agentes*. IEE Review, January 1996. p. 17-20.
- Piaget, Jean. *O nascimento da inteligência na criança*. 3 ed. Rio de Janeiro, Zahar, 1978.
- Piaget, Jean. *Para onde vai a educação?* Rio de Janeiro, ed. José Olympio. 1984.
- Nero, Schutzer Enrique Del. *Questões metodológicas em ciências cognitivas*. Série Ciência Cognitiva - 20. São Paulo. USP Instituto de Estudos Avançados. 1994. Pag. i-iii.
- Nero, Schutzer Enrique Del. *Modelos cognitivos e interdisciplinaridade*. Série Ciência Cognitiva - 20. São Paulo. USP Instituto de Estudos Avançados. 1994. Pag. 1-6.
- Pozo, Juan Ignacio. *Teorias cognitivas da aprendizagem*. Trad. Juan Acuña Llorens. 3 edic. Porto Alegre: Artes Medicas, 1998. 284 p. ISBN: 85-7307-344-6.
- Rego, Teresa Cristina. *Vigotsky. Uma perspectiva histórico-cultural da educação*. 6 edição. Petrópolis - RJ: Vozes, 1995. 138 p. ISBN:85.326.1345-4.
- Santos, Wladimir dos. *O aspecto metodológico. Paulo freire ao vivo*. São Paulo. Edições Loyola. (Aldo Vannucchi - orgnizador) 1983. 147 p.
- Tecuci, Gheorghe. Hiebb, Michael R. *Teaching intelligent agents: the discipline approach*. *International Journal of Human-Computer Interaction*, v. 8, n. 3, p. 259-286. Norwork-NJ USA. Ablex Publishing Corporation.. 1996. 365 p.
- Thagard, Paul. *Mente. Introdução a ciência cognitiva*. Porto Alegre: ArtMed, 1998. 248. p. ISBN:85-7307-460-4.