



MODELO DE CÓRTEX ARTIFICIAL BASEADO EM MULTIRREDES NEURAIIS
COOPERATIVAS PARA APLICAÇÃO EM DECISÕES COMPLEXAS:
APLICAÇÃO EM SISTEMA TUTOR INTELIGENTE BASEADO EM JOGOS
DIGITAIS

André Luiz Barreto Esperidião

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

Orientador: Luiz Pereira Calôba

Rio de Janeiro

Março de 2017

MODELO DE CÓRTEX ARTIFICIAL BASEADO EM MULTIRREDES NEURAI
COOPERATIVAS PARA APLICAÇÃO EM DECISÕES COMPLEXAS:
APLICAÇÃO EM SISTEMA TUTOR INTELIGENTE BASEADO EM JOGOS
DIGITAIS

André Luiz Barreto Esperidião

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Examinada por:

Prof. Luiz Pereira Calôba, Dr. Ing.

Prof. José Gabriel Rodriguez Carneiro Gomes, Ph. D.

Prof. Geraldo Bonorino Xexéo, D.Sc

Prof. Luiz Alfredo Vidal de Carvalho, D.Sc.

Profa. Tania Maria Diederichs Fischer, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2017

Esperidião, André Luiz Barreto

Modelo de Córtex Artificial Baseado em Multirredes Neurais Cooperativas para Aplicação em Decisões Complexas: Aplicação em Sistema Tutor Inteligente Baseado em Jogos Digitais/ André Luiz Barreto Esperidião. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

XXII, 363 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Luiz Pereira Calôba

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Elétrica, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 301-318.

1. Aprendizagem de máquina. 2. Sistemas inteligentes de controle. 3. Sistemas tutoriais inteligentes. 4. Redes neurais artificiais. I. Calôba, Luiz Pereira II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Elétrica. III. Título.

Para minha mãe, Josina Barreto Esperidião (in memoriam), por toda sua dedicação, incentivo e amor incondicional e para minha avó, Franklina Pereira da Silva (in memoriam), pelo seu amor, seu zelo e por sempre acreditar e torcer por mim.

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por iluminar meu caminho e conduzir meus passos.

Aos meus pais, Josina (*in memorian*) e Roberto por todos os anos de dedicação, amor, pelos sacrifícios que vocês fizeram pela educação de seus filhos, pela paciência, incentivo e compreensão.

Agradecimento à minha avó Franklina Pereira da Silva (*in memorian*), minha “*mãe vó*”, por seu amor, dedicação. Obrigado por nunca ter se esquecido de mim.

Meu agradecimento ao meu irmão Adriano, não apenas pela ajuda, mas pelo modelo, paciência e incentivo e, também agradeço à e sua linda família Rosimeire, Isabel e Rodrigo, pelo carinho, palavras, apoio e compreensão.

Deixo registrado meu agradecimento ao meu irmão Alexandre, que sempre esteve ao meu lado nessa caminhada. Não posso de deixar de agradecer, também, à sua linda família Fernanda, Gabriela e Marina, pelo carinho e compreensão.

Meu agradecimento á minha família que reside na cidade do Rio de Janeiro, Itelita e seus filhos (Ludmila, Larissa e Serginho) que me acolheram no início desse processo.

Obrigado à Kelly Calil, por caminhar ao meu lado, me dando o apoio e a força necessária para enfrentar os inúmeros obstáculos que encontrei no decorrer dessa empreitada.

Ao meu orientador professor Luiz Calôba, por toda atenção e apoio para a realização desse sonho. O meu muito obrigado por me auxiliar em relação à bolsa de estudos, sua atenção ao ponderar sobre o tema da tese junto a mim, me aconselhar, orientar e, principalmente pela paciência e primor em ensinar.

A todos os meus professores, sem exceção.

A todos meus amigos que, com palavras de incentivo e de motivação e, com muita compreensão, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

A todos os meus colegas da UFRJ, em especial, Fellipe e Savano.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

MODELO DE CÓRTEX ARTIFICIAL BASEADO EM MULTIRREDES NEURAIAS
COOPERATIVAS PARA APLICAÇÃO EM DECISÕES COMPLEXAS:
APLICAÇÃO EM SISTEMA TUTOR INTELIGENTE BASEADO EM JOGOS
DIGITAIS

André Luiz Barreto Esperidião

Março/2017

Orientador: Luiz Pereira Calôba

Programa: Engenharia Elétrica

Este trabalho consiste apresentar um modelo de Córtex Artificial para solução de problemas complexos. No arcabouço do córtex, destaca-se o uso de aprendizagem de máquina (*machine learning*) baseada em múltiplas redes neurais artificiais cooperativas. A concepção do modelo parte da observação do funcionamento do cérebro como um conjunto de áreas funcionais que atuam no processo de cognição e, posteriormente, usa o conhecimento adquirido na tomada de decisões e execução de ações complexas. Para experimentar, observar e analisar a eficiência do Córtex decide-se pela aplicação em um Sistema Tutor Inteligente baseado em Jogos Digitais, por considerar o processo de ensino-aprendizagem um tema complexo, subjetivo e que exige dinamismo em sua execução (variação de estratégias para tornar o processo flexível e personalizado). Delimitam-se as ferramentas propostas por meio de pesquisa exploratória, gerando conhecimentos para aproveitamento prático na solução de problemas relativos à educação, como uma pesquisa aplicada. Por fim, são utilizados recursos estatísticos a fim de explicar a realidade do fenômeno, apontando resultados significativos (significância de 5%) na melhoria de aprendizado, comparando-se técnicas de ensino.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

ARTIFICIAL BASED CORTEX MODEL IN MULTI-NEURAL NETWORKS
COOPERATIVE FOR APPLICATION IN COMPLEX DECISIONS: APPLICATION
IN SYSTEM INTELLIGENT TUTOR BASED ON DIGITAL GAMES

André Luiz Barreto Esperidião

March/2017

Advisor: Luiz Pereira Calôba

Department: Electrical Engineering

This work presents an Artificial Cortex model for solving complex problems. In the framework of the cortex, highlighting the use of machine learning based on multiple artificial neural networks. The design of the model of the observation of the functioning of the brain as a set of functional areas that operate in the process of cognition and subsequently use the acquired knowledge in decision-making and execution of complex actions. To experiment, observe and analyze the efficiency of the Cortex is decided by the application in an Intelligent Tutor System based on Digital Games, considering the teaching-learning process a complex subject, subjective and requires dynamism in their implementation (range strategies for Make the process flexible and personalized). The proposed tools are delimited through exploratory research, generating knowledge for practical use in the solution of problems related to education, such as applied research. Finally, statistical resources are used in order to explain the reality of the phenomenon, pointing out significant results (significance of 5%) in the improvement of learning, comparing teaching techniques.

Sumário

CAPÍTULO 1: Introdução	1
1.1 O Tema	1
1.2 Delimitação do Tema	2
1.3 Problemas e Hipóteses	3
1.3.1 Problemas	6
1.3.2 Hipóteses	6
1.4 Objetivos	7
1.4.1 Objetivo Geral	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 Motivações	7
1.6 Justificativa	8
1.7 Metodologia	9
1.7.1 Finalidade	10
1.7.2 Objetivo	10
1.7.3 Abordagem do Problema	10
1.7.4 Técnicas e Procedimentos	10
1.8 Estrutura do Trabalho	10
1.9 Visão Geral dos Capítulos	11
CAPÍTULO 2: Ensino e Aprendizagem	14
2.1 Introdução	14
2.2 Evolução	15
2.3 Perspectiva Filosófica e Psicológica	23
2.4 Estilos de Aprendizagem	30
2.4.1 Teoria de Aprendizagem de Kolb	34
2.4.2 Abordagem de Honey & Mumford	40
2.4.3 Modelo de Felder	44
2.5 Avaliação no Processo de Ensino-Aprendizagem	46
2.6 Medindo a Aprendizagem	50
2.7 Motivar Aprendizes	52
2.8 Aspectos Neurológicos da Cognição	55
CAPÍTULO 3: Aprendizagem Cooperativa	66
3.1 Introdução	66
3.2 Teorias Relacionadas à Aprendizagem Cooperativa	67
3.3 Diferenciando Interação, Colaboração e Cooperação	68
3.4 Sucesso na Cooperação e a Teoria de Belbin	69
3.5 Cooperação na Aprendizagem	73
3.6 Aprendizagem Cooperativa Suportada por Computador	74

3.6.1	Breve Histórico	74
3.6.2	Tecnologias Utilizadas	77
3.6.3	Recursos Digitais de Cooperação.....	77
3.6.4	Tipos de Interação através de dispositivos eletrônicoS.....	79
3.7	Vantagens da Aprendizagem Cooperativa.....	83
3.7.1	Perspectiva Individual	83
3.7.2	Dinâmica do Grupo	83
3.8	Problemas da Cooperação Por Meio de Dispositivos Eletrônicos.....	84
CAPÍTULO 4: Redes Neurais artificiais		86
4.1	Introdução	86
4.2	Motivação para as Redes Neurais Artificiais.....	88
4.3	Breve Histórico das Redes Neurais Artificiais	92
4.4	Funcionamento das Redes Neurais Artificiais.....	97
4.4.1	Aprendizado Supervisionado	100
4.4.2	Aprendizado Não-Supervisionado	100
4.5	Perceptron	101
4.6	Redes Perceptron de Múltiplas Camadas.....	102
4.6.1	Treinamento das Redes MLP	104
4.6.2	Formalização matemática do Treinamento	106
4.7	Passos para a Criação de Sistemas Conexionistas	113
CAPÍTULO 5: Sistemas Tutores Inteligentes.....		115
5.1	Introdução	115
5.2	Histórico.....	116
5.3	Sistemas Tutores	118
5.4	Principais Estruturas para Sistemas Tutores	119
5.4.1	Tutorial Clássico	119
5.4.2	Tutorial Focado em Atividades	120
5.4.3	Tutorial Customizado pelo Aluno	120
5.4.4	Tutorial de Avanço por Conhecimento	121
5.4.5	Tutorial Exploratório.....	121
5.4.6	Tutorial Gerador de Lições	122
5.5	Sistemas Tutores Utilizando Computador	122
5.5.1	Sistemas Tutores Inteligentes.....	124
5.5.2	Sistemas Tutores Inteligentes Híbridos.....	129
CAPÍTULO 6: Jogos Digitais e Aprendizagem.....		134
6.1	Introdução	134
6.2	Tecnologia e o Conflito de gerações.....	135
6.3	A Geração dos Jogos Digitais	145
6.4	Relação Entre Jogos e a Aprendizagem.....	148
6.5	Jogos Digitais Aplicados em Educação	158

6.6	Jogos Digitais Cooperativos	163
6.7	Tipos de Aprendizagem em Jogos Digitais	166
6.8	Jogos x Público	168
CAPÍTULO 7: Modelo de Córtex Artificial		170
7.1	Introdução	170
7.2	Estrutura do Modelo de Aprendizagem de Máquina	171
7.2.1	Áreas Funcionais Primárias	172
7.2.2	Áreas Funcionais Secundárias	175
7.2.3	Áreas Funcionais Terciárias	182
7.3	Considerações Gerais Sobre Possíveis Implementações	186
7.4	Paralelismo Computacional do Modelo	188
7.5	Múltiplos Córtices	192
CAPÍTULO 8: Sistema Proposto		193
8.1	Introdução	193
8.2	Pesquisa Preliminar	194
8.3	Análise de Público Alvo e Suas Necessidades	199
8.4	Definição e Desenvolvimento do Conteúdo	200
8.5	Metodologia de Ensino e de Avaliação	202
8.6	A Arquitetura do Sistema Tutor	204
8.7	A Inteligência do Sistema	207
8.8	Componentes do Jogo Digital	211
8.9	Considerações Gerais Sobre o Sistema	233
8.10	Considerações Técnicas	244
CAPÍTULO 9: Experimentos e Resultados		248
9.1	Introdução	248
9.2	O Experimento	249
9.2.1	Seleção das Variáveis	249
9.2.2	Coleta de Dados	253
9.2.3	Análise e Filtragem dos Dados	257
9.2.4	Treinamento das Redes Neurais	267
9.3	Análise dos Resultados	273
9.3.1	Análise descritiva	273
9.3.2	Análise Inferencial	278
9.4	Análise da Aprendizagem Contínua do Córtex	284
CAPÍTULO 10: Conclusão		291
10.1	Introdução	291
10.2	Principais Contribuições	294
10.3	Trabalhos Futuros	296
10.4	Considerações Finais	300

Referências Bibliográficas.....	301
Apêndice 1: Pesquisa Preliminar.....	319
Apêndice 2: Estilos de Aprendizagem.....	325
Apêndice 3: Teste de Belbin.....	330
Apêndice 4: Informações Complementares.....	338
Apêndice 5: Aplicativos Analisados.....	346
Apêndice 6: Dados	348

Lista de Figuras

Figura 1: John McCarthy.....	4
Figura 2: Estrutura de ligação entre os capítulos de fundamentação e os modelos propostos.....	11
Figura 3: Pintura Rupestre - Parque Nacional da Serra da Capivara.....	16
Figura 4: Elenco original de <i>Sesame Street</i> (1969).	19
Figura 5: Professor Seymour Papert.....	20
Figura 6: Steve Jobs e o NeXT.....	21
Figura 7: Sir Jean William Fritz Piaget (1886 -1980), epistemólogo.....	25
Figura 8: Lev S. Vygotsky (1896-1934), professor e pesquisador.....	27
Figura 9: David Paul Ausubel, psicólogo.....	29
Figura 10: Exemplo de infográfico (adaptado de: lendo.org).	31
Figura 11: Rita Dunn – professora e pesquisadora.....	32
Figura 12: David A. Kolb - psicólogo.....	34
Figura 13: John Dewey.....	35
Figura 14: Kurt Lewin.....	35
Figura 15: Carl Jung.....	35
Figura 16: Atividades de aprendizagem.....	36
Figura 17: Ciclo de aprendizagem.....	36
Figura 18: Estilos de aprendizagem.....	37
Figura 19: Exemplo de resultado do Inventário de Estilo de Aprendizagem (IEA).....	39
Figura 20: O Modelo de Kolb.....	40
Figura 21: Peter Honey – psicólogo.....	41
Figura 22: Estilos de Aprendizagem de HONEY e MUMFORD (1986).....	43
Figura 23: Dimensões de Estilos de Aprendizagem (FELDER e SILVERMAN,1988).44	

Figura 24: Richard Felder - professor e pesquisador.....	45
Figura 25: Dr. Linda K. Silverman – psicóloga.	45
Figura 26: Herman Ebbinghaus – psicólogo.	51
Figura 27: Theodore P. Wright – engenheiro.....	51
Figura 28: Pirâmide da Teoria das Necessidades de Maslow.	53
Figura 29: Santiago Ramón y Cajal.....	55
Figura 30: Alexander Romanovich Luria.....	56
Figura 31: Wilder Penfield, neurocirurgião e professor.....	57
Figura 32: Representação do “Homúnculo de Penfield”.....	58
Figura 33: Modelo ilustrativo da anatomia e áreas funcionais do cérebro. Fonte: <i>Health, medicine and anatomy reference pictures</i> , 2013.	59
Figura 34: Áreas de Projeção e suas subdivisões (MACHADO, 2006).....	59
Figura 35: Áreas sensitivas primárias.....	60
Figura 36: Área do córtex motor primário.....	61
Figura 37: Áreas de Associação e suas subdivisões, segundo MACHADO (2006).	61
Figura 38: Imagens do cérebro humano, obtidas através de tomografia de emissão de pósitrons.	62
Figura 39: Dr. Raymond Meredith Belbin – professor e pesquisador.....	70
Figura 40: Exemplo de gráfico resultante do Teste de Belbin (BELBIN, 1993).	73
Figura 41: Comunicação Síncrona	80
Figura 42: Interação Assíncrona.....	80
Figura 43: Interação "um-para-um"	81
Figura 44: Interação "um-para-todos"	81
Figura 45: Interação "alguns-para-alguns"	82
Figura 46: Interação "todos-para-todos".....	82
Figura 47: Neurônios do sistema nervoso central dos vertebrados. a) representação do	

neurônio motor da medula espinhal; b) representação de uma célula de Purkinje do cerebelo (KOVÁCS 2006), p.14.....	89
Figura 48: Representação gráfica da estrutura do neurônio biológico	90
Figura 49: Fotos de redes neurais biológicas (obtidas através de diferentes tipos de microscópios).	91
Figura 50: A ilustração A é um dos desenhos originais de Cajal, baseados em neurônios reais impregnados com prata, como se vê na foto B, tirada por Janaína Brusco, da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, em Ribeirão Preto. Fonte: Ciência Hoje (LENT, 2010).	91
Figura 51: Modelo estrutural de uma rede neural (HAYKIN, 2001).	91
Figura 52: McCulloch - neurofisiologista	92
Figura 53: Walter Pitts - matemático.....	92
Figura 54: Donald Hebb (1904-1985) - Psicólogo Canadense.....	93
Figura 55: Frank Rosenblatt - Psicólogo	94
Figura 56: Marcian Hoff - Engenheiro	95
Figura 57: Bernard Widrow - Engenheiro	95
Figura 58: John Hopfield – Físico e Biólogo	96
Figura 59: David E. Rumelhart, Ph.D.	97
Figura 60: Estrutura do neurônio artificial MCP de McCulloch e Pitts	97
Figura 61: Representação simplificada de uma rede neural artificial (RNA)	98
Figura 62: Representação da topologia de um perceptron simples com uma única saída.	102
Figura 63: Representação simplificada de uma rede MLP	103
Figura 64: Fases do treinamento da Rede MLP, utilizando algoritmo <i>backpropagation</i>	104
Figura 65: Algoritmo <i>backpropagation</i>	105
Figura 66: Modelo de referência para a formalização matemática	107

Figura 67: Exemplo de superfície de erro.	109
Figura 68: Influência do termo <i>momentum</i> (BRAGA, 2007).....	110
Figura 69: Estrutura de um tutorial clássico.....	119
Figura 70: Estrutura de um tutorial focado em atividades.....	120
Figura 71: Estrutura de um tutorial customizado	120
Figura 72: Estrutura do tutorial de avanço por conhecimento.....	121
Figura 73: Estrutura do tutorial exploratório.....	121
Figura 74: Estrutura do tutorial gerador de lições	122
Figura 75: Domínio do conhecimento de uma aplicação STI.....	124
Figura 76: Arquitetura clássica de um STI (GIRAFFA, 1999).....	126
Figura 77: A estrutura do STI de Carvalho (CARVALHO, 2002)	131
Figura 78: Estrutura do STI de MEIRELES (2003).....	132
Figura 79: Tela do jogo <i>Pong</i> de 1974.	137
Figura 80: Tela do jogo <i>Space Invaders</i>	137
Figura 81: Alan Kay - cientista da computação	138
Figura 82: McLuhan - educador, intelectual, filósofo e teórico da comunicação.	139
Figura 83: Michael M. Merzenich – Neurocientista.....	141
Figura 84: Paula Tallal – Professora e pesquisadora.....	141
Figura 85: Jogos digitais são democráticos com todas as gerações. Nesta imagem Roberto (pai) e Alexandre (filho), imigrantes digitais, jogando FIFA 13 – famoso jogo de futebol - em um console de <i>videogame</i> (Sony Playstation 3 [®]), pertencente ao Sr. Roberto, em 2013.	145
Figura 86: Idit Harel, Phd.....	147
Figura 87: Ilustrando a atenção em jogos. Arthur (14) e Rodrigo (13) jogando, cada um em um computador.	147
Figura 88: Gabriela (13), Rodrigo (13) e Arthur (14), jogando em console (XBox), jogo cooperativo.	147

Figura 89: Carl Sagan - Cientista estadunidense	154
Figura 90: Sivasailam "Thiagi" Thiagarajan, Ph. D.	160
Figura 91: Relação aprendizagem x envolvimento (PRENSKY, 2012, p. 212)	160
Figura 92: Equilíbrio ideal entre envolvimento e aprendizagem (PRENSKY, 2012, p.213).....	161
Figura 93: Mihaly Csikszentmihalyi	162
Figura 94: Estrutura do modelo conceitual de aprendizagem de máquina proposto, “Córtex Artificial”.....	171
Figura 95: Representação gráfica das áreas sensitivas secundárias.	176
Figura 96: Representação gráfica das áreas cognitivas secundárias.....	177
Figura 97: Representação gráfica dos emissores no modelo de córtex artificial.....	179
Figura 98: Exemplo de tradução realizada pelo emissor.....	180
Figura 99: Representação gráfica das áreas cognitivas secundárias.....	181
Figura 100: Projeto TrueNorth da IBM [®]	187
Figura 101: Informações sobre o perfil dos participantes da pesquisa.....	195
Figura 102: Percentuais obtidos na pesquisa preliminar (q.1-4).	196
Figura 103: Percentuais obtidos na pesquisa preliminar (q. 5-10).	197
Figura 104: Exemplo do uso da notação de processos para “ <i>brainstorm</i> ”	201
Figura 105: Roteiro do curso piloto.....	203
Figura 106: Execução do curso piloto.	204
Figura 107: Estrutura do sistema tutor proposto	205
Figura 108: Registro do esquema de navegação em fase de projeto no quadro branco.	207
Figura 109: Estrutura da inteligência artificial cooperativa.	209
Figura 110: Etapas de teste e tratamento de imagens dos mapas do jogo.	212
Figura 111: Ordem das atividades - (I) atividade individual (E) atividade em equipe.	213

Figura 112: Dinâmica de evolução das fases.....	214
Figura 113: Notação para modelagem de processos (BPMN).	214
Figura 114: Tela do jogo – ambiente residencial.	216
Figura 115: Elementos informativos e interativos do jogo.	216
Figura 116: Funcionalidade de girar o mapa.	217
Figura 117: Objeto BPM.	218
Figura 118: Tela do Guia de Referência BPMN.	219
Figura 119: Indicação de atividade a ser executada.	219
Figura 120: Ambiente do jogo com indicações de possíveis tarefas.....	220
Figura 121: Representação gráfica e interface da loja do jogo.....	222
Figura 122: Tela do "Inventário do Jogador" e a montagem de objetos a serem utilizados.....	222
Figura 123: Tela do jogo – ambiente empresarial.	223
Figura 124: Tela do editor de processos no modo tutorial.	224
Figura 125: Sequência que mostra o construtor no modo quebra-cabeça.	225
Figura 126: Construtor no modo livre.	225
Figura 127: Tela do jogo – exibindo conteúdo em formato de vídeo.....	226
Figura 128: Exemplo de este rápido.	227
Figura 129: Exemplo de <i>feedback</i>	228
Figura 130: Exemplo de recompensa com o troféu "acerto triplo".	228
Figura 131: Exemplo de uso dos "avatares" do jogo, utilizados na comunicação.	229
Figura 132: Interface do <i>leaderboard</i>	232
Figura 133: Tela de apresentação do experimento (web).....	234
Figura 134: Página web da tela de cadastro.	235
Figura 135: Formulário de cadastro.	236
Figura 136: Processo no rodapé das páginas.	237

Figura 137: Tela de instruções para o teste de estilos de aprendizagem.	237
Figura 138: Instruções para o teste de estilos de aprendizagem.....	238
Figura 139: Tela de instruções para o teste de perfil de trabalho em equipe.	238
Figura 140: Instruções para o teste de perfil de trabalho em equipe.	239
Figura 141: Seção do teste de perfil de trabalho em equipe.....	239
Figura 142: Modelo de questão adotado para os testes de conteúdo.....	240
Figura 143: Tela do dispositivo (emulador) - acionando o jogo.	241
Figura 144: Tela de acesso (botão de <i>login</i> ainda bloqueado).	242
Figura 145: Tela de acesso – (botão de <i>login</i> desbloqueado).....	242
Figura 146: Tela de testes e sincronização dos dados.	243
Figura 147: Interface do tutorial introdutório.....	243
Figura 148: Exemplo de questão do "pós-teste".....	244
Figura 149: Curso piloto de BPM - Gerenciamento de Processos (BPMN).	253
Figura 150: Exemplos de incoerência.	257
Figura 151: Exemplo do uso de regras de navegação em níveis (regulador).	259
Figura 152: Análise: tamanho amostra x notas finais x ganho.....	260
Figura 153: Representação gráfica da distribuição por grau de instrução.....	261
Figura 154: Representação gráfica da distribuição dos dados por faixa etária.	262
Figura 155: Representação gráfica da distribuição por sexo.....	262
Figura 156: Carregamento dos dados de navegação para tratamento.	263
Figura 157: Possíveis tipos de atividades em cada fase.	266
Figura 158 – Forma geral das redes neurais utilizadas.....	268
Figura 159: Organização das pastas para armazenar dados de treinamento.....	269
Figura 160: Representação gráfica da rede de navegação em níveis	270
Figura 161: Gráfico de treinamento da rede neural do navegador de níveis.	271
Figura 162: Estrutura da rede de navegação em tipos de conteúdo.....	271

Figura 163: Gráfico de treinamento da rede neural do navegador de conteúdo.....	272
Figura 164: Representação gráfica da estrutura da rede neural do navegador de papéis	272
Figura 165: Gráfico de treinamento do navegador de atividades.....	273
Figura 166: Comparação da avaliação dos métodos de ensino.....	276
Figura 167: Percepção durante os experimentos.....	277
Figura 168: Comparação do nível de fadiga.....	277
Figura 169: Correlação entre Ganho e Eficiência.....	284
Figura 170: Gráfico de dispersão entre Ganho e Eficiência.....	285
Figura 171: Esquema de preparação dos dados para o ciclo.....	287
Figura 172: Dispersão Ganho x Eficiência – Ciclo 1.....	288
Figura 173: Dispersão Ganho x Eficiência – Ciclo 2.....	288
Figura 174: Dispersão Ganho x Eficiência – Ciclo 3.....	288
Figura 175: Curva de aprendizagem do córtex artificial em relação à eficiência.....	289
Figura 176: Curva de aprendizagem de eficácia - ganho (retenção de conhecimento).....	289

Lista de Tabelas

Tabela 1: Distribuição por grau de instrução.....	261
Tabela 2: Distribuição por faixa etária.	261
Tabela 3: Distribuição por participação de gêneros – “sexo”.	262
Tabela 4: Significância do Teste Qui Quadrado - Níveis de Dificuldade.	264
Tabela 5: Significância do Teste Qui Quadrado - Tipo de Conteúdo.	265
Tabela 6: Significância do Teste Qui Quadrado – Atividade em Equipe.....	267
Tabela 7: Estatísticas Básicas.	274
Tabela 8: Comparação das notas iniciais – Tradicional x Jogo Livre.	279
Tabela 9: Comparação das notas iniciais – Tradicional x Jogo STI.....	279
Tabela 10: Comparação das notas iniciais – Jogo livre x Jogo STI	280
Tabela 11: Comparação das notas iniciais – Tradicional x Jogo livre.	280
Tabela 12: Comparação das notas finais - Tradicional x Jogo STI.....	281
Tabela 13: Comparação das notas finais - Jogo livre x Jogo STI.....	281
Tabela 14: Comparação do ganho normalizado - Tradicional x Jogo livre.....	282
Tabela 15: Comparação do ganho normalizado - Tradicional x Jogo STI.....	283
Tabela 16: Comparação do ganho normalizado – Jogo livre x Jogo STI.....	283
Tabela 17: Medidas básicas da amostra – observando ganho e eficiência.....	285
Tabela 18: Comparativo de medidas dos ciclos de aprendizagem.	287
Tabela 19: Comparação de eficácia entre o Ciclo 1 e o Ciclo 3.....	290
Tabela 20: Comparação de eficiência entre o Ciclo 1 e o Ciclo 3.....	290

Lista de Quadros

Quadro 1: Teorias de aprendizagem com ênfase em interação social.	68
Quadro 2: Papéis de Time, Descritores, Pontos Fortes e Possíveis Fraquezas.	71
Quadro 3: Comparação de IA Conexionista x IA Simbólica (GIRAFFA, 1995).....	129
Quadro 4: Tipos de aprendizagem e respectivos estilos de jogos	167
Quadro 5: Regras de Indicações de Níveis.....	258

Lista de Siglas e Abreviaturas

ADALINE	–	Adaptative Linear Element
BPM	–	Business Process Management
BMPN	–	Business Process Model and Notation
CAI	–	Computed Aided Instruction
CMC	–	Comunicação Mediada por Computador
CSCL	–	Computer Supported Collaborative Learning
CSCW	–	Computer Supported Cooperative Work
FTP	–	File Transfer Protocol
HTML	–	Hypertext Markup Language
IA	–	Inteligência Artificial
ICAI	–	Intelligent Computed Assisted Instruction
IAED	–	Inteligência Artificial Aplicada à Educação
ITS	–	Intelligent Tutoring Systems (o mesmo que STI)
MLP	–	Multilayer Perceptron (perceptron de múltiplas camadas)
OA	–	Office Automation
RNA	–	Rede Neural Artificial
STI	–	Sistema Tutor Inteligente
STIHAC-BJD	–	Sistema Tutor Inteligente Híbrido com Aprendizagem Cooperativa Baseado em Jogos Digitais
WWW	–	World Wide Web

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

"A imaginação é mais importante do que o conhecimento."

(Albert Einstein)

1.1 O TEMA

O foco principal do presente estudo consiste em resolver problemas complexos e subjetivos por meio do uso de técnicas aprendizagem de máquina (*machine learning*), apresentando um novo modelo de córtex artificial, constituído de um híbrido de redes neurais artificiais cooperativas e de subsistemas especialistas.

A concepção do modelo parte base da observação do funcionamento do cérebro como um complexo conjunto de áreas funcionais, atuando cooperativamente no processo de aprendizagem e, posteriormente, utilizando o conhecimento adquirido para a tomada de decisões e para a execução de ações igualmente complexas.

Para experimentar, observar e analisar a eficiência desse modelo de inteligência decide-se pela aplicação do mesmo em um o processo de ensino-aprendizagem. A escolha se dá por ser considerado um tema complexo, subjetivo e que exige dinamismo em sua execução (variação de estratégias para tornar o processo flexível e individualizado).

O trabalho aborda também a criação de uma ferramenta que permite tanto a observação do fenômeno de aprendizagem cooperativa, como testar os resultados de eficiência e eficácia do uso do modelo de córtex artificial em tal processo.

Portanto, o tema é “Modelo de Córtex Artificial Baseado em Multirredes Neurais Cooperativas para Aplicação em Decisões Complexas – Aplicação em Sistema Tutor Inteligente Baseado em Jogos Digitais”, por abranger tanto o modelo, quanto a ferramenta experimental.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A delimitação do tema torna-se necessária para que o leitor tenha uma ideia da dimensão, profundidade e fronteiras que cercam o presente trabalho e tem como objetivo evitar expectativas fora do contexto tratado.

O presente trabalho parte de um extenso e profundo estudo, buscando fundamentos teóricos consistentes para o desenvolvimento de um modelo de aprendizagem de máquina inspirado no que se sabe sobre o funcionamento do cérebro, observando-se de forma ampla o trabalho conjunto das diferentes áreas funcionais na execução de determinada tarefa. O referido modelo utiliza-se de técnicas de aprendizagem de máquina em sistemas conexionistas (redes neurais artificiais), com uma pequena participação de sistemas especialistas (aplicando regras e corrigindo possíveis incoerências), formando um sistema híbrido. Neste modelo são utilizadas três redes neurais artificiais, cada qual com seu conhecimento específico, trabalhando em cooperação para atingir um objetivo comum.

O trabalho também descreve o desenvolvimento de um sistema que permite o uso e o teste da eficiência do modelo proposto. O sistema proposto consiste em uma arquitetura de um sistema tutor inteligente híbrido, baseado em jogos digitais exploratórios e, contendo em seu arcabouço o modelo de aprendizagem de máquina proposto.

O formato de jogo digital é utilizado como estratégia para manter o foco e o interesse dos aprendizes durante o processo de ensino-aprendizagem. É importante ressaltar que apesar de possuir características semelhantes a um jogo digital, trata-se de um sistema tutor e não de um jogo puro propriamente dito. Em outras palavras, a concepção do sistema proposto não apresenta uma ferramenta de puro entretenimento.

Para a validação do estudo, apresenta-se a experimentação, observação e medição da eficiência de tal ferramenta de ensino. Ao final, comprova-se que o sistema tutor utilizando-se do o modelo proposto de aprendizagem de máquina formou um ambiente computacional de aprendizagem mais eficaz, interessante e favorável a relações interpessoais entre os aprendizes, tornando o processo de ensino-aprendizagem via ferramenta digital mais amigável e motivador.

1.3 PROBLEMAS E HIPÓTESES

Uma vez que o intento deste trabalho é apresentar uma nova teoria, seguida de um experimento que possa validá-la de modo científico, torna-se necessária a sua problematização e, posteriormente a formulação de hipóteses, cujas explicações são apresentadas nos subitens dessa seção. Porém, antes de apresentar tais subitens é imprescindível que se apresente uma contextualização.

É possível observar que a humanidade tem vivido em uma constante revolução, e o elemento central dessa transformação é a evolução das tecnologias¹ de informação e de comunicação. Foi observado que tal processo de evolução tecnológica apresentou, nos últimos anos, um impacto relativamente grande na economia global e, principalmente, na dinâmica social. A tecnologia avançou em diferentes áreas da atividade humana e tornou-se um dos principais fatores de desenvolvimento e mudança comportamental da sociedade.

Não obstante, a inteligência artificial (IA), termo cunhado por John McCarthy² durante o seminário de Dartmouth em 1956 (NORVIG, 2013), hoje tratada e desenvolvida como aprendizagem de máquina (*machine learning*), vem acompanhando o desenvolvimento tecnológico e tem sido empregada em diversas áreas como, por exemplo: diagnóstico médico; análise do comportamento humano em relação ao comércio; análise e previsão na bolsa de valores; controle de automação robótica; modelos científicos; equipamentos eletrônicos; aplicativos para dispositivos móveis; buscadores de internet; reconhecimento de imagem; classificação dos mais variados tipos; na infraestrutura de indústrias; radares militares; sonares da marinha; refinamento de materiais e processos em produção industrial; reconhecimento da fala e até mesmo

¹ A palavra tecnologia vem da união de duas palavras originárias do Grego: “tekhnós” = arte – Conjunto de procedimentos e de métodos práticos próprios a uma atividade e; “logia” = estudo. Tecnologia é o conjunto de instrumentos, regras e procedimentos através dos quais o conhecimento científico e técnico são aplicados de maneira reprodutível a uma determinada tarefa. – Curso de Qualificação em Gestão Tecnológica – ANPEI (Associação Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento das Empresas Inovadoras) - 2006.

² John McCarthy foi um cientista da computação estadunidense, bastante conhecido pelos estudos no campo da inteligência artificial. Nascido em Boston, 1927, recebeu o Prêmio Turing (1971), Prêmio Pioneiro da Computação (1985), Prêmio Kyoto (1988), Medalha Nacional de Ciências (1990), Medalha Benjamin Franklin (2003). Trabalhou na Universidade Stanford, Instituto de Tecnologia de Massachusetts, Dartmouth College e Universidade de Princeton. Faleceu em Stanford, Califórnia, em 2011.

em sistemas de ensino, entre várias outras aplicações.

Mesmo com inúmeras aplicações, a aprendizagem de máquina tem sido aplicada, na maioria das vezes a problemas relativamente simples, levando-se em consideração que problemas menores são mais fáceis de serem resolvidos pelas tecnologias desenvolvidas até o presente momento.



Figura 1: John McCarthy.

Mesmo com a generalização do aprendizado, apresentado por um tipo específico de aprendizagem de máquina, as chamadas Redes Neurais Artificiais (cujas características serão abordadas com maiores detalhes no Capítulo 4), a aprendizagem de máquina ainda deixa a desejar em relação a assuntos subjetivos e mais complexos, que exigem percepção, tomada de decisões e mudança de estratégias em tempo real pelo próprio sistema inteligente.

Com o avanço tecnológico as informações tornaram-se cada vez mais disponíveis por meio de várias mídias, resultando no aparecimento de indivíduos com mais autonomia e em constante atividade de aprendizagem, tornando-os “sujeitos do conhecimento”. Em relação a essa mudança de comportamento dos indivíduos, cada vez mais ávidos por informações e conhecimentos pelos mais diversos assuntos, é necessário repensar o papel da tecnologia. A principal forma de aquisição de conhecimento formal é a instrução obtida através da academia (instituições de ensino e pesquisa em qualquer grau), porém, o complexo processo de ensino-aprendizagem não acompanhou a evolução tecnológica.

É necessário ressaltar que processo de ensino-aprendizagem é abordado aqui em função de sua complexidade e da necessidade de observação das inúmeras decisões e

estratégias que podem ser adotadas para a sua execução de forma efetiva e eficiente. Este assunto é fundamental para a aplicação do modelo proposto, conforme brevemente explicado na seção anterior e conforme pode ser verificado no decorrer do presente trabalho.

Na intenção de acompanhar o desenvolvimento tecnológico e a mudança comportamental dos indivíduos, a área educacional tenta adotar a tecnologia como potencial ferramenta de apoio ao processo de ensino-aprendizagem de diversas formas. Inúmeras iniciativas educacionais abraçaram o ensino apoiado pela tecnologia, desde cursos presenciais, até cursos à distância. Porém, nenhuma das iniciativas observadas revolucionou a área de educação. Essas tentativas de introdução da tecnologia nos processos de ensino-aprendizagem não transformaram o ensino em algo diferente, apenas mudaram a forma de exposição do conteúdo sequencial e continuaram avaliando da mesma forma (método tradicional de exposição e avaliação).

A maioria dos sistemas computacionais de ensino disponíveis não aplica didáticas de ensino-aprendizagem de forma efetiva. Em geral, os sistemas não empregam personalização de conteúdo, não oferecem um ensino adaptativo à curva de aprendizado do aluno, não levam em consideração que os aprendizes possuem diferentes perfis de aprendizagem. Apenas alguns sistemas empregam recursos multimídia e até ambientes para promover maior interação e individualização, todavia mantêm sua característica principal: distribuição de conteúdo digital estático e sequencial, segundo afirma CARVALHO (2002). Mesmo com alguns avanços na personalização do conteúdo, observando os estudos de Martins *et al.* (2003) no âmbito acadêmico, os sistemas tutores inteligentes dessa geração apresentam características semelhantes ao processo de ensino-aprendizagem sequencial tradicional. Os sistemas analisados também não apresentam um emprego coerente das teorias e técnicas utilizadas para a personalização do conteúdo.

Observa-se, portanto, que além o processo de ensino-aprendizagem ser bastante complexo, envolvendo observação, decisões, mudanças de estratégias para se alcançar seus objetivos, as tecnologias atuais não oferecem soluções satisfatórias aos problemas de decisões inerentes a esse tipo de processo.

Após essa breve contextualização é possível determinar os problemas e hipóteses para o presente trabalho.

1.3.1 PROBLEMAS

É possível resolver problemas complexos e subjetivos utilizando-se de técnicas de aprendizagem de máquina com abordagem conexionista?

É possível utilizar uma arquitetura diferenciada que faça uso de redes neurais cooperativas e que possuam aprendizagem cooperativa, na resolução de problemas que exijam mudanças contínuas de estratégias no decorrer do tempo, como por exemplo, na personalização do processo de ensino-aprendizagem para humanos?

Levando-se em conta a premissa anterior, é possível aplicar a arquitetura supracitada em um sistema tutor interessante ao aprendiz a ponto motivá-lo a continuar o aprendizado?

O uso da arquitetura mencionada pode tornar um sistema tutor inteligente baseado em jogos em um sistema eficaz e eficiente na execução do processo de ensino-aprendizado?

Como observação secundária, é possível melhorar a sensação de conforto do aprendiz no processo de ensino-aprendizagem por meio de um sistema tutor inteligente que utilize da arquitetura proposta na melhoria do referido processo?

1.3.2 HIPÓTESES

A hipótese principal dessa fase é:

- O uso de uma arquitetura, baseada em múltiplas redes neurais cooperativas, aplicada em sistemas de decisões complexas, como em um processo de ensino-aprendizagem, pode melhorar significativamente os resultados esperados.

Aplicando-se a arquitetura proposta em um sistema tutor inteligente, levando-se em consideração que o processo de ensino aprendizagem é um problema complexo a ser solucionado, podem-se formular as seguintes hipóteses secundárias:

- a. O uso da nova arquitetura em sistema tutor inteligente eleva o nível de conforto ao aprendiz.
- b. A nova arquitetura aumenta o grau de satisfação do aprendiz.
- c. A nova arquitetura reduz a fadiga do aprendiz.

1.4 OBJETIVOS

Por apresentar uma multidisciplinaridade que o deixa o tema com inúmeras possibilidades de abordagem, faz-se necessário destacar os principais objetivos a serem atingidos por esta tese.

1.4.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do modelo de inteligência baseado em redes neurais cooperativas é tomar as decisões sobre um assunto subjetivo e complexo, para que o modelo como um todo atinja o objetivo comum de forma eficiente, isto é, no caso específico deste trabalho, fazer com que o aprendiz tenha um ganho significativo de conhecimento utilizando-se de um menor esforço (menor utilização de recursos).

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São objetivos específicos deste trabalho:

- a. Apresentar um modelo baseado no uso de múltiplas redes neurais artificiais, que seja eficiente na tomada de decisões em problemas complexos;
- b. Apresentar uma arquitetura de sistema tutor inteligente que seja flexível e adaptativo em suas estratégias para atender às necessidades de aprendizado de cada indivíduo;
- c. Apresentar sistema proporcione uma experiência interessante, satisfatória, confortável e menos cansativa do que a forma de ensino tradicional.

1.5 MOTIVAÇÕES

Diversas pesquisas sobre aprendizagem de máquina foram desenvolvidas de modo a melhorar, em vários aspectos, o trabalho, a qualidade de vida dos seres humanos e da condição geral de vários elementos em nosso planeta (elevando-se a estudos inclusive fora dele).

Percebe-se que as técnicas de aprendizagem de máquina, mesmo quando buscando a generalização de perspectivas, são geralmente utilizadas de forma bastante

objetiva na resolução de problemas bem específicos e, raramente são utilizadas como atuadora na resolução de problemas realmente complexos e subjetivos, que dependem de observação, generalização, alteração de estratégias e atuação. Com base nessa observação surgiu o interesse em criar um modelo de aprendizagem de máquina suficientemente flexível na resolução de problemas complexos.

Pode-se enunciar, como principal motivador desse empreendimento, o desejo de criar um modelo de aprendizagem de máquina capaz de considerar a cooperação entre as distintas áreas funcionais do cérebro, em sua atuação na cognição e resolução de problemas complexos, afastando-se, assim, dos modelos convencionais.

Outra importante motivação reside em pensar a possibilidade de integrar o modelo de inteligência conexionista cooperativa em um sistema que pudesse oportunizar a observação de processos de cooperação na aprendizagem humana e na resolução de problemas. Desta forma, poder observar a aquisição de conhecimento por meio da cooperação, para que, futuramente, seja possível a aplicação em novos modelos de aprendizagem de máquina.

Outrossim, impulsiona o presente esforço a possibilidade de encontrar algumas soluções para problemas inerentes ao processo de ensino-aprendizagem, demonstrando que o modelo proposto pode ser não somente uma teoria, mas algo realmente útil em uma aplicação prática.

1.6 JUSTIFICATIVA

Diversos estudos sobre o tema “aprendizagem de máquina” apresentam explicações que, por fim, se aproximam de algo semelhante a: “simular o pensamento e/ou comportamento inteligente”, isto é, um sistema com a capacidade de compreender, generalizar, resolver problemas e adaptar-se, entre outras características.

Observa-se, em alguns sistemas inteligentes, que certos problemas são resolvidos utilizando-se de sensores (percebem o ambiente) e atuadores (interagem com o ambiente) trabalhando em cooperação, isto é, cada componente do sistema contribui com sua especialidade na resolução de um determinado problema (ex.: sistemas especialistas), conforme afirma BUCHANAN (1984). Em outros casos, tais sistemas exibem um comportamento de aprendizado pela “observação” de exemplos, se tornando

capazes de generalizar e resolver problemas (ex.: redes neurais artificiais). Entretanto, nota-se que os seres que manifestam comportamento inteligente (que as técnicas de aprendizagem de máquina procuram emular) apresentam bem mais do que apenas uma dessas características, mas um conjunto integrado de subsistemas que permitem a compreensão e resolução de determinados problemas, em especial os mais complexos (BRAGA, 2007).

Para iniciar o presente estudo, primeiramente tornou-se necessário encontrar um problema complexo a ser resolvido. Optou-se pelo desenvolvimento de algo que tivesse, além do benefício do método teórico, uma aplicação prática útil e mensurável. Após muita reflexão, o problema selecionado para ser testado e resolvido envolveu o delicado tema do “processo de ensino-aprendizagem”, cuja crescente ineficiência tem sido observada por diversos estudiosos, em especial para as gerações atuais.

O passo seguinte foi buscar uma maneira de unir as técnicas de aprendizagem de máquina em cooperação de uma forma que pudesse ter sua eficiência mensurada. Optou-se então pela concepção de uma ferramenta de ensino, constituída com bases em teorias e técnicas bem fundamentadas, criando uma relação viável entre as diversas disciplinas envolvidas no estudo.

A ferramenta desenvolvida foi um sistema tutor inteligente híbrido com aprendizagem cooperativa e baseado em características de jogos digitais, cujo objetivo é, além de apresentar comportamento inteligente, promover melhoria significativa no processo de ensino-aprendizagem. Tal comportamento inteligente, próximo ao funcionamento cooperativo das áreas cognitivas do cérebro, serve de justificativa ao estudo.

1.7 METODOLOGIA

O presente trabalho constitui-se de um estudo teórico, buscando bases para o desenvolvimento de um modelo baseado em aprendizagem de máquina para solução de problemas complexos, o Córtex Artificial. Para testar a eficácia e eficiência de tal modelo opta-se o desenvolvimento de uma ferramenta cujo objetivo é melhorar o processo de ensino-aprendizagem. Portanto, apresenta-se, também, aplicação prática das teorias e técnicas por meio da ferramenta criada, realizando experimentos que permitam

comprovar a eficiência do modelo proposto. Ao final são apresentados os resultados obtidos nesse estudo.

1.7.1 FINALIDADE

Quanto à finalidade, trata-se de pesquisa aplicada, gerando conhecimentos para aproveitamento prático e solução de problemas específicos. O problema refere-se à aplicação de um modelo de aprendizagem de máquina com o intuito de oferecer melhor aprendizagem através de sistema tutor inteligente baseado em jogo digital.

1.7.2 OBJETIVO

Quanto ao objetivo, a metodologia de pesquisa é pesquisa exploratória, buscando maiores informações sobre os assuntos estudados a fim de delimitar o tema do trabalho e, posteriormente, atinge-se o nível de pesquisa explicativa, preocupando-se em analisar e interpretar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

1.7.3 ABORDAGEM DO PROBLEMA

Quanto à abordagem utilizada é a pesquisa quantitativa, utilizando-se de técnicas e recursos estatísticos a fim de explicar a realidade do fenômeno pesquisado por meio de processos de quantificação.

1.7.4 TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS

Para a fundamentação teórica realiza-se a pesquisa bibliográfica a partir de material já elaborado e disponível. Posteriormente é desenvolvida a pesquisa experimental, realizando uma comparação do resultado do uso da ferramenta desenvolvida, contendo o modelo de inteligência proposto utilizado para a navegação, com o método tradicional e com uma ferramenta similar, porém, com navegação livre.

1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente estudo abrange assuntos multidisciplinares, por esta razão, essa seção visa:

- a. Apresentar a estrutura do trabalho;

- b. Auxiliar no sentido de ser um roteiro de leitura segundo o interesse do leitor;
- c. Apresentar de maneira direta as conexões entre os assuntos;

O trabalho é dividido em três (3) partes. A primeira parte apresenta a fundamentação teórica de todos os assuntos abordados na tese (capítulos 2, 3, 4, 5 e 6), sendo esquematicamente pensada da forma apresentada pela Figura 2.

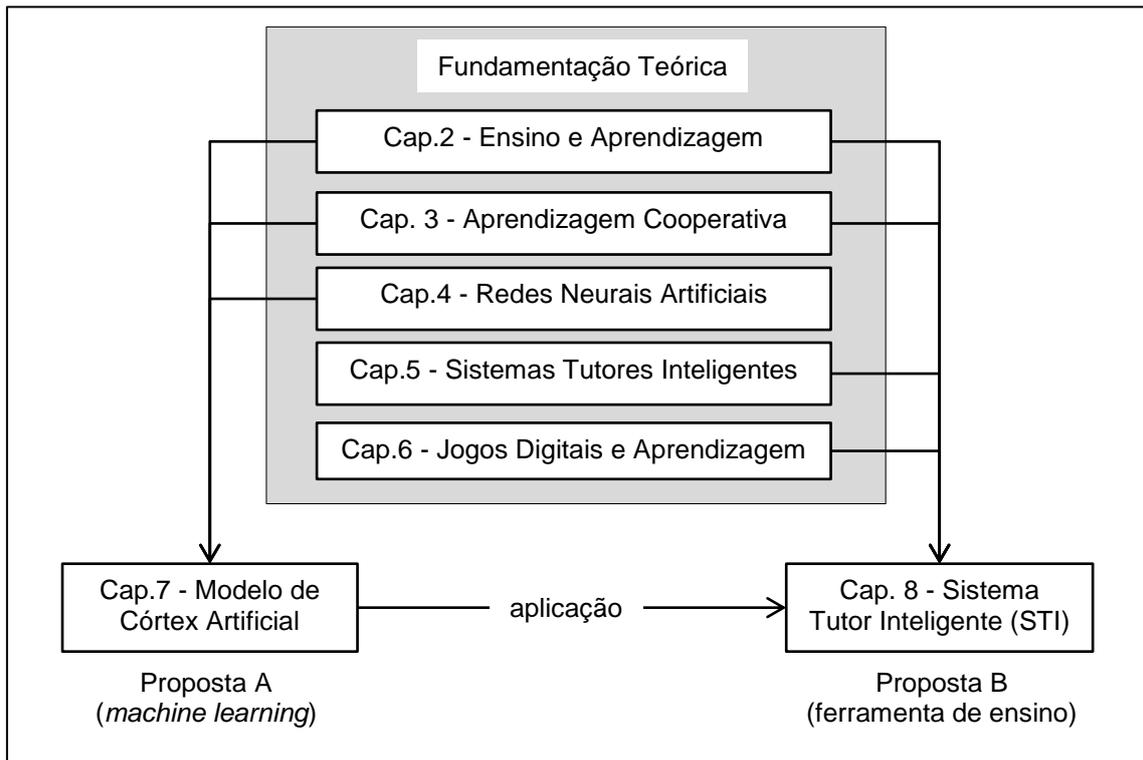


Figura 2: Estrutura de ligação entre os capítulos de fundamentação e os modelos propostos.

Ainda seguindo a estrutura apresentada na Figura 2, a segunda parte apresenta o modelo proposto (Capítulo 7 – Modelo de Córtex Artificial) e sua aplicação em um Sistema Tutor Inteligente (Capítulo 8).

Vale ressaltar que todos os fundamentos teóricos relativos à aprendizagem foram utilizados para o Córtex Artificial apenas como inspiração na construção do modelo.

A terceira parte apresenta os experimentos realizados, análise dos resultados e a conclusão.

1.9 VISÃO GERAL DOS CAPÍTULOS

O Capítulo 2 apresenta uma breve explanação sobre ensino-aprendizagem, com o

intuito de fundamentar tanto o desenvolvimento do modelo proposto no Capítulo 7 (Córtex Artificial), quanto o sistema proposto no Capítulo 8 (Sistema Tutor Inteligente).

O Capítulo 3 faz uma abordagem às teorias que fundamentam a aprendizagem cooperativa, mostrando desde a sua evolução até as técnicas de comunicação através de um ambiente computacional. Também serve de fundamento para inspirar tanto modelo proposto no Capítulo 7 (no que diz respeito ao aprendizado cooperativo das redes neurais do córtex artificial), quanto para a aplicação no sistema tutor inteligente proposto no Capítulo 8.

O Capítulo 4 contextualiza redes neurais, com ênfase no modelo MLP (Perceptron de Múltiplas Camadas), utilizado nos experimentos descritos no Capítulo 9.

O Capítulo 5 apresenta o tópico: sistemas tutores inteligentes.

O Capítulo 6 diz respeito aos jogos digitais voltados para aprendizagem.

O Capítulo 7 apresenta o modelo de aprendizagem de máquina proposto, denominado de Córtex Artificial.

O Capítulo 8 apresenta o sistema utilizado para testes do modelo proposto no Capítulo 7.

O Capítulo 9 expõe os procedimentos realizados nos experimentos e, posteriormente, apresenta a análise estatística dos dados obtidos como resultados de tais experimentos.

O Capítulo 10 apresenta a conclusão deste trabalho e ressalta os resultados obtidos, fortalece as hipóteses originais e confirma a capacidade do sistema proposto em melhorar a qualidade da tutoria através da utilização do córtex artificial.

PARTE I

Fundamentação Teórica

CAPÍTULO 2: ENSINO E APRENDIZAGEM

"A sabedoria não cria o gênio, mas oferece-lhe, por vezes, oportunidade para se revelar."

(Leoni Kaseff)

2.1 INTRODUÇÃO

Conforme mencionado no Capítulo 1, o processo de ensino aprendizagem é bastante complexo e subjetivo, visto que é utilizado no presente trabalho para validar o modelo de inteligência apresentado, torna-se necessário apresentar algumas perspectivas importantes sobre o tema.

O processo de ensino-aprendizagem pode ser observado por meio de diferentes perspectivas e analisado baseando-se em inúmeras teorias (GAGE, 1963). A cognição pode ser considerada uma das funções mentais mais importantes em humanos, animais e que atualmente pode ter suas características básicas aplicadas em máquinas nas quais operam sistemas inteligentes. É através da aprendizagem que competências, habilidades, conhecimento e valores são adquiridos e modificados como resultado de observação, experiência, formação, estudo e raciocínio (NOVAK, 1994).

Dada a sua complexidade, o processo de ensino-aprendizagem tem sido estudado por diversas áreas, desde a filosofia, passando pela psicologia, neuropsicologia, pedagogia, neurociências³, administração e, até mesmo a engenharia.

O processo de ensino-aprendizagem é um fenômeno altamente complexo que pode ser afetado por um grande número de variáveis e, apesar de existirem inúmeras teorias a esse respeito, não se sabe exatamente como é que se aprende. O objetivo deste capítulo é apresentar o tema “ensino-aprendizagem”, preparando o leitor para os

³ A neurociência é uma das áreas do conhecimento biológico que utiliza os achados de subáreas que a compõe, por exemplo, a neurofisiologia, a neurofarmacologia, o eixo psiconeuro-endócrino, a psicologia evolucionária, o neuroimageamento, a fim de esclarecer como funciona o sistema (PURPURA, 1992, PURVES *et al.*, 1997, KANDEL *et al.*, 2000, LENT, 2001).

diversos assuntos abordados adiante.

A Seção 2.2 apresenta, brevemente, a evolução do conhecimento sobre o processo de ensino-aprendizagem. A Seção 2.3 apresenta perspectivas filosóficas e psicológicas do processo de ensino-aprendizagem, com levantamento das principais teorias de ensino-aprendizagem. A Seção 2.4 apresenta algumas teorias sobre estilos de aprendizagem. A Seção 2.5 expõe a avaliação dentro do contexto de ensino-aprendizagem. A Seção 2.6 apresenta formas de medir a aprendizagem. A Seção 2.7 faz considerações sobre como motivar aprendizes (visa auxiliar na execução dos experimentos). Na Seção 2.8 são abordados alguns aspectos neurológicos da cognição, observando-se, principalmente, a cooperação entre as partes do cérebro na constituição do aprendizado (serve de inspiração para a composição do modelo de córtex artificial).

2.2 EVOLUÇÃO

PRENSKY (2012) pressupõe que, nos primórdios da humanidade, o sistema de ensino e os treinamentos eram processos de imitação e de orientação do tipo: “pegue uma pedra e atire-a em um animal... se não conseguir, continue praticando até que consiga...” e, também: “não faça assim...”. Percebe-se que para que essa aprendizagem baseada em habilidades fosse suportável e pudesse ser lembrada, a prática se tornou uma forma de brincar (o Capítulo 6 faz uma relação entre brincadeiras, jogos e o processo de ensino-aprendizagem).

Ainda seguindo PRENSKY (2012), a demonstração e a repetição prática podem ser observadas ainda hoje, em aulas de instrumentos musicais, esportes, línguas (conversação) e em treinamento de outras habilidades físicas, com bons orientadores em uma relação de igual-para-igual, em cooperação (cooperação no processo de ensino-aprendizagem é abordada, em seus vários aspectos, no Capítulo 3).

MCCLINTOK *et al.* (1998) afirma que a evolução e a transformação do processo de ensino-aprendizagem tentam acompanhar a evolução tecnológica desde a pré-história.

O primeiro avanço técnico perceptível, utilizado no processo de ensino-aprendizagem, aparece com a utilização de figuras e símbolos, não havendo mais a necessidade de demonstração física. Portanto, observando-se os registros pictográficos

em cavernas, realizados pelos hominídeos da pré-história, como as primeiras manifestações simbólicas de algum tipo de informação apropriável pela coletividade, pode-se pressupor a existência, desde então, de indivíduos interessados na transmissão de conhecimento aos seus semelhantes. Observa-se ainda hoje, e com bastante frequência, a utilização dessa técnica nos esquemas gráficos feitos no quadro de giz, ou quadro branco e, ainda, quando se assiste às orientações do comissário de bordo para “retirar o cartão da poltrona e segui-lo junto com as explicações” – cartão esse que tem seu conteúdo apresentado através de figuras e símbolos (PRENSKY, 2012).

Além do avanço técnico descrito acima, pode-se admitir que já desde este momento evolutivo, diferenciou-se nos grupos humanos o ser que ensina e o ser que aprende, ou seja, desde então, se estabeleceu certo tipo de relação pedagógica dentre as várias relações humanas já identificáveis.



Figura 3: Pintura Rupestre - Parque Nacional da Serra da Capivara⁴.

⁴ O Parque Nacional Serra da Capivara (declarado Patrimônio Cultural da Humanidade pela UNESCO) está localizado no sudeste do Estado do Piauí, ocupando áreas dos municípios de São Raimundo Nonato, João Costa, Brejo do Piauí e Coronel José Dias. A superfície do Parque I é de 129.140 ha e seu perímetro é de 214 Km. Além de seus valores de ambientais e turísticos, o parque também apresenta uma densa concentração de sítios arqueológicos, a maioria com pinturas e gravuras rupestres, nos quais se encontram vestígios extremamente antigos da presença do homem (100.000 anos antes do presente). Atualmente estão cadastrados 912 sítios, entre os quais, 657 apresentam pinturas rupestres, sendo os outros sítios ao ar livre (acampamentos ou aldeias) de caçadores-coletores, são aldeias de ceramistas-agricultores, são ocupações em grutas ou abrigos, sítios funerários e, sítios arqueo-paleontológicos. – Fundação Museu do Homem Americano – FUNDHAM.

A língua falada foi, sem dúvida, o próximo passo na evolução tecnológica, pois a partir daí, podia-se descrever pessoas, objetos, inventar histórias e parábolas para facilitar o entendimento e a memorização do que foi aprendido. Dessa forma passou a ser possível fazer perguntas e perceber se as respostas são dadas de forma a mostrarem entendimento (PRENSKY, 2012).

Posteriormente, na época de Sócrates, surgiu o método socrático ou dialético (ainda utilizado nas faculdades de direito, por exemplo). Também, nesta época surgiu a leitura e a escrita. Sócrates contava histórias e fazia perguntas sobre elas e Platão as escrevia. Surgindo então o conceito acadêmico para identificar o indivíduo que passava grande parte do tempo lendo os estudos. Contudo, essa forma de aprendizagem e de conhecimento escrito era rara e limitada aos poucos que podiam ler e escrever. O sistema de ensino era frágil. Um único incêndio a biblioteca de Alexandria eliminou boa parte do conhecimento armazenado no mundo, dificultando o aprendizado dos acadêmicos (PRENSKY, 2012).

PRENSKY (2012) menciona outra importante inovação tecnológica: o prelo. Inventado pelo alemão Johan Gutenberg em 1450, uma forma de impressão gráfica que foi considerada pioneira na reprodução de livros. A impressão levou a arte à escrita descritiva e lógica de discursos, ensaios e livros. A partir daí os materiais educacionais poderiam ser distribuídos a todos que os quisessem. A aprendizagem baseada em livros favoreceu a apresentação e a exposição lógica, racional e linear. Também levou a uma necessidade de ensinar a leitura e a escrita a mais pessoas. Segundo POSTMAN (1985), o atual sistema de educação de massa começou basicamente como um produto do prelo, tendo sido desenvolvido para proporcionar um nível básico de letramento a todos. Ainda segundo o autor, o desenvolvimento da escola se deu primeiramente para ensinar as pessoas a lerem livros.

Segundo PRENSKY (2012), com o passar do tempo, os professores transformaram as atividades de ensino em palestras pré-elaboradas e a aprendizagem se transformou em simplesmente ler ou ouvir pessoas.

Ainda segundo PRENSKY (2012), em seguida desenrola-se a revolução industrial e, com ela a competição, levando padronização ao sistema de ensino e à necessidade de testar as pessoas para que fossem rapidamente alocadas ao trabalho correto. Já os testes padronizados surgiram a partir das necessidades militares da Primeira Guerra Mundial.

Em meados de 1930, surgiu uma modalidade de ensino denominada de “ensino não presencial”. Com ela, o aluno passou a ter a possibilidade de acessar o conteúdo, controlar a sua frequência e ritmo. Até então os processos de educação ressaltavam a importância de técnicas de aprendizagem com características próprias, voltadas para a população adulta em educação permanente. Um livro, por exemplo, é uma forma de ensino não presencial. Independente do leitor, o formato do livro é o mesmo com a mesma sequência de páginas e capítulos. Cabe ao leitor seguir a sequência original do livro ou, então, construir uma que julgue mais adequada, alterando a forma de folhear o mesmo (MELO, 2003). Apesar do modelo de ensino não presencial ter sido alvo de muitas pesquisas e evoluções, foi observado que tal modelo apresentou diversos problemas na forma de administrar individualidades e também não revolucionou o convencional de exposição sequencial e posterior avaliação (sem medir o ganho de conhecimento do aprendiz nesse processo de ensino-aprendizagem).

O sistema de ensino com base no método exposição e avaliação é, na realidade, uma “tradição” com menos de trezentos anos. Tal método funcionou bem até o final do século XIX e início do século XX, não sofrendo mudanças significativas pelo surgimento de novas tecnologias, como telefone, rádio e a televisão (o sistema educacional dessa época despendeu grande esforço para mantê-las longe). Somente após a metade do século XX é que a televisão passou a ser considerada como elemento de apoio à educação (juntamente com outros recursos, como o videocassete, por exemplo), como resultado da mudança cultural após a sua massificação. A televisão fez sua própria programação mental na geração dos *baby boomers*, geração essa destinada a manter a tradição do método de exposição e avaliação, com o ensino passivo e centrado no transmissor (PRENSKY, 2012).

Criado em 1969, nos Estados Unidos, Vila Sésamo (*Sesame Street*) foi o primeiro infantil de televisão a ensinar conceitos e divertir. A estrutura era formada por quadros de curta duração que se repetiam em ritmo acelerado. Cada quadro tinha objetivo pedagógico específico e formato inspirado em técnicas publicitárias. Tornou-se uma referência cultural de série infantil educativa de televisão no mundo todo, segundo LESSER (1975).



Figura 4: Elenco original de *Sesame Street* (1969).

Depois do sucesso de Vila Sésamo, muitos outros programas educativos foram apresentados através da televisão, apresentando diferentes propostas e diferentes estilos de ensino. Possivelmente teria se tornado mais interessante aos jovens se não fosse a intervenção de mais uma grande mudança tecnológica, o surgimento do microcomputador⁵.

MEIRELLES (1994) menciona todo o histórico dos computadores em seu trabalho, desde a primeira geração. Porém, o autor destaca o ano de 1977 como um marco importante para história, pois foi quando surgiram os microcomputadores fabricados em escala comercial, cujo microprocessador custava, na época, muito menos do que os outros modelos de computadores utilizados até então (mainframes – computadores de grande porte). Diversos modelos foram lançados após 1975, seguindo o surgimento do Mits Altair 8800, considerado por muitos autores como o primeiro microcomputador. Até que em 1981 a IBM entra no mercado, percebendo o sucesso da Apple⁶ com os microcomputadores. Porém, a IBM com sua atuação arrojada no mercado, produz o IBM PC (PC – *Personal Computer*), que veio a se tornar um padrão.

MEIRELLES (1994), explanando também sobre a evolução dos *softwares*⁷,

⁵ Eis alguns microcomputadores dessa época: Mits Altair 8800; Apple I; Apple II; Lisa; Macintosh; IBM PC (MEIRELLES, 1994).

⁶ IBM e APPLE são grandes companhias fabricantes de computadores mundialmente conhecidas.

⁷ Software é uma palavra em inglês para designar programa, a parte lógica de um sistema de informática. São considerados softwares: os programas, procedimentos e a documentação relativa à construção (análise e projeto) e à operação de um sistema de computação (MEIRELLES, 1994).

explica que, entre 1967 e 1968, Seymour Papert⁸ desenvolveu uma linguagem de programação totalmente voltada para a educação - LOGO. Entretanto, só a partir de 1980 é que a comunidade pedagógica passou a incorporar suas ideias.

MEIRELLES (1994) explica que a LOGO, considerada um dialeto ou uma modificação do LISP⁹, é uma linguagem interpretada¹⁰ e de alto nível voltada para aplicações educacionais do primeiro grau. Possui aspectos computacionais, além de uma metodologia específica para explorar o processo de aprendizagem. A LOGO é constituída de por palavras primitivas e comandos que controlam o movimento de um cursor em formato de tartaruga, criando variados desenhos e funções que podem ser executadas. Objetiva estimular atividades criativas como jogos, brincadeiras, programas, entre outros. Considera o erro como importante fator de aprendizagem, uma vez que oferece oportunidades para que o aprendiz entenda porque errou, e busque uma nova solução para o problema, investigando, explorando, descobrindo por si próprio.

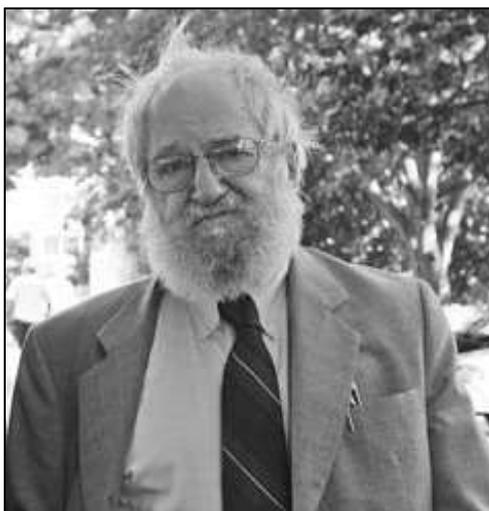


Figura 5: Professor Seymour Papert.

⁸ Seymour Papert é matemático, professor do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (Massachusetts Institute of Technology – MIT). Nasceu em 1928, em Pretória – África do Sul, mas tem sua nacionalidade e residência nos EUA. Além de ser um visionário no uso de computadores na educação é, também, um dos pioneiros na área de estudo de inteligência artificial. Os trabalhos de Papert tiveram grande impacto no que diz respeito a redes neurais artificiais, tema que será abordado no Capítulo 4.

⁹ LISP – LISt Processing – linguagem criada no final da década de 50 no MIT por John McCarthy, como ferramenta para o desenvolvimento da inteligência artificial e simulação do pensamento, permitindo também o uso em outras aplicações (MEIRELLES, 1994).

¹⁰ Relativo à forma como ocorre o processo de tradução de um código fonte escrito em uma linguagem de programação para a execução de um programa. A tradução pode ser através de um interpretador (interpreta cada comando do programa) ou através de um compilador (lê, analisa e traduz todo o código fonte de uma só vez).

PAPERT (1994), explica que a linguagem LOGO dá importância às experiências significativas para a criação de um ambiente de aprendizagem e descoberta, no qual alunos e educadores se engajem num trabalho de investigação científica, em que ocorre o processo cíclico: ação – testagem – depuração – generalização, o autodomínio na representação e o estabelecimento de conexões de conhecimentos que o aluno possui para a construção de um novo conhecimento.

Em 1988 Steve Jobs¹¹ anunciou o NeXT, computador voltado para aplicações educacionais, seguindo a vocação e grande penetração do Macintosh nas escolas e universidades americanas (MEIRELLES, 1994).



Figura 6: Steve Jobs e o NeXT.

No Brasil, os computadores da linha TRS-80 (D-8000) da Dismac, CP-300 e CP-500 da Prológica foram bastante utilizados nas escolas, até o advento do IBM PC XT.

Do final do século XX até os dias de hoje, os microcomputadores evoluíram, tendo seus componentes cada vez mais miniaturizados e ganharam diversos formatos, tais como: *Desktops*, *Notebooks*, *Netbooks*, *Ultrabooks*, Computadores “*All in One*” (tudo em um) e, se popularizaram.

A internet, rede mundial de computadores, evoluiu de uma rede de comunicação, pesquisa e desenvolvimento denominada ARPANET, estabelecida em de 1969 pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Após duas décadas de relativo ostracismo

¹¹ Steven Paul Jobs, nascido em 1955 em São Francisco – Califórnia - EUA, foi co-fundador, presidente e diretor executivo da Apple inc – fabricante de computadores e softwares. Responsável por revolucionar a indústria de computadores pessoais, da música, de animação para cinema, telefones, tablets e publicações digitais. Jobs faleceu em 2011 em Palo Alto – Califórnia – EUA.

como rede governamental, a internet explodiu nos anos de 1990 para penetrar a consciência do público, reformular organizações e seus processos, globalizar informações e transformar as comunicações. A rede mundial é, sem dúvida, um fenômeno revolucionário em computação e telecomunicações (O'BRIEN, 2000).

A internet possibilitou transformações na área educacional, como no caso da modalidade de Educação a Distância (EAD), que utiliza seus mais variados recursos, e que vem atender às demandas crescentes por ensino e aprendizagem. A EAD surgiu como uma das mais importantes ferramentas de difusão de educação e conhecimento.

A internet, nos últimos anos, tem propiciado diversas mudanças na área educacional, quer seja pela tecnologia utilizada, como também na forma de apresentação do conteúdo didático de forma não linear.

Observa-se que, por mais que a tecnologia tenha evoluído, os métodos de ensino não acompanharam, mudando apenas a maneira de expor o conteúdo para o aprendiz. Hoje se usa um computador com um projetor acoplado para apresentar um extenso conteúdo ao aluno, sem se preocupar com a preparação por parte do tutor, ou mesmo, com a assimilação do conteúdo por parte do aprendiz. Além disso, segundo PRENSKY (2012), professores e alunos pertencem a mundos totalmente diferentes. A maior dinâmica na qual se baseia a aprendizagem de hoje é o choque turbulento entre um corpo de professores criados em uma geração pré-digital e um grupo de aprendizes criados em um mundo digital e conectado. Dois grupos tão diferentes¹² na abordagem, na visão de mundo, no estilo e nas necessidades, que mal conseguem se comunicar.

Segundo VEEN (2009), “o que pode hoje ser visto na educação é uma luta para encaixar a nova tecnologia em um velho modelo”. O problema é que fazer o uso das novas tecnologias com modelos de aprendizagem tradicionais pode ser mais frustrante ainda, pois a partir do momento que o aprendiz recebe a proposta de realizar determinada atividade com o uso das mesmas, ele cria expectativas e, a partir do momento que nota que serão realizadas as mesmas atividades onde apenas mudou-se a “capa” ele se dispersa e não se interessa mais em participar.

DEMO (2009) afirma que “as instituições de ensino tendem a usar novidades

¹² Tais diferenças são comentadas com mais clareza no Capítulo 6.

tecnológicas para manter formas tradicionais de ensino”.

DRUCKER (1993) fez uma observação interessante sobre a tecnologia que deve ser levado em conta para reflexão:

“... O mais importante será repensar o papel e a função da educação escolar (dos cursos de graduação no ensino superior): seu foco, sua finalidade, seus valores. A tecnologia é importante, principalmente porque nos força a fazer coisas novas, e não porque permite que façamos melhor as coisas velhas...” (Drucker, 1993, p. 153).

Segundo PRENSKY (2012), as “mudanças cognitivas” ou “alterações mentais” causadas pelas novas tecnologias e mídias digitais levaram a uma grande variedade de novas necessidades e preferências por parte das gerações mais jovens, especialmente na área de aprendizagem.

2.3 PERSPECTIVA FILOSÓFICA E PSICOLÓGICA

O processo ensino-aprendizagem, consideradas as diferentes matrizes epistemológicas¹³ da Filosofia, sobretudo nos seus primórdios, e da Psicologia, mais contemporaneamente, apresenta concepções amplamente diferenciadas, dependendo, por exemplo, da ênfase dada ao conhecimento nas diversas teorias oriundas destas diferentes matrizes (AUSUBEL, 1968).

A primeira teoria filosófica com importantes implicações na investigação do processo de ensino-aprendizagem foi o Inatismo¹⁴. Tal concepção afirma que os fundamentos do conhecer são passados hereditariamente e, conseqüentemente, a responsabilidade quanto à incubação do conhecimento provém de fatores biológicos herdados. Segundo inatistas, nascemos, trazendo em nossa mente, não só os princípios racionais, mas também algumas ideias verdadeiras, que, por tal aspecto, são chamadas de ideias inatas (AUSUBEL, 1978).

¹³ Epistemologia é o estudo crítico dos princípios, hipóteses e resultados das ciências já constituídas, e que visa a determinar os fundamentos lógicos, o valor e o alcance objetivo dela; Teoria da ciência (FERREIRA, 2000).

¹⁴ Representantes importantes do Inatismo são: Platão (séc. IV a.C.), Descartes (séc. XVII) e Kant (séc. VIII).

Ao contrário do Inatismo, o Empirismo¹⁵ sugere que a mente, com seus princípios, seus procedimentos e suas ideias, é formada, ou vem a se constituir, pela experiência. No Empirismo, a responsabilidade pela aquisição do conhecimento é deslocada para as experiências vividas pelo indivíduo na sua relação com os objetos (coisas, situações, pessoas, entre outros) do mundo exterior. Mesmo que opostas, ambas concebem o processo de ensino-aprendizagem formal como caracterizado por ações limitadas aos elementos da díade aprendiz-professor, agentes estes unitários, cara e previamente definidos (AUSUBEL, 1978).

Desde os primórdios da aculturação humana até os dias de hoje, o processo ensino-aprendizagem foi concebido de diversas perspectivas diferentes. Perspectivas estas divergentes em vários aspectos, dentre eles o grau de importância da contextualização da relação entre professor e aprendiz. Entre as propostas mais enfáticas quanto à importância de fatores contextuais no processo ensino-aprendizagem encontra-se o Construtivismo (BECKER 1994).

Com surgimento formal datado do início do século XX, o Construtivismo caracteriza-se por valorizar a convivência social, trabalhos cooperativos e a ação dos indivíduos no ambiente, o que implica em repercussão considerável na compreensão da evolução do processo de ensino-aprendizagem. Até o advento do Construtivismo os elementos “ensinar” e “aprender” eram entendidos por muitos como isolados, sendo que, a partir do Construtivismo, foram redescobertos como dimensões de um processo de grandes revelações, que possibilita e viabiliza experiências expressivas para quem o vivencia (BECKER 1994).

O Construtivismo pode ser visto como um conceito, uma ideia, uma teoria, um modo de produção do conhecimento ou um movimento do pensamento que emerge do avanço das ciências e da filosofia dos últimos séculos. Uma teoria psicopedagógica centrada no modo como o indivíduo constrói o conhecimento. Essa construção ocorre pela ação do homem sobre o objeto do conhecimento, sendo importante ressaltar que, para essa ação, o homem agente traz suas experiências e seus conhecimentos prévios (BECKER 1994).

¹⁵ Representam o Empirismo os filósofos ingleses Francis Bacon, John Locke, James Mill, John Stuart Mill, George Berkeley e David Hume, no período entre os séculos XVI e XVIII, inclusive.

A teoria construtivista surgiu em sua versão plena por volta de 1960, representada principalmente pelas obras¹⁶ do filósofo e psicólogo Jean Piaget¹⁷. Piaget centrou a maior parte de seus esforços intelectuais na busca da resposta à pergunta “Como o conhecimento de um ser humano evolui?”. Com o intuito de respondê-la, Piaget estudou principalmente os modos pelos quais o entendimento do mundo pelas crianças muda no curso do desenvolvimento biológico. Em suas observações, Piaget verificou que o crescimento do conhecimento nas crianças se dá espontaneamente por assimilação, isto é, por organização dos dados do exterior de uma maneira própria, e por acomodação, ou seja, adaptando essa organização¹⁸ para poder compreender a realidade (GIRAFFA, 1995).

Para PIAGET (1990), a inteligência lógica tem um mecanismo autorregulador evolutivo. Certas noções, como quantidade, proporção, sequência, causalidade e volume surgem espontaneamente em momentos diferentes do desenvolvimento do indivíduo em sua interação com o meio. As ideias de Piaget partem da suposição de que existe um mecanismo cognitivo natural e que sua evolução se dá com o crescimento biofísico do indivíduo (PIAGET, 1996).



Figura 7: Sir Jean William Fritz Piaget (1886 -1980), epistemólogo.

¹⁶ Lógica e Conhecimento Científico (1967) e A Epistemologia Genética (1970).

¹⁷ Especialista em psicologia evolutiva e epistemologia genética, o filósofo e educador, Jean Piaget nasceu em Neuchâtel, Suíça, em 09 de agosto de 1886, e morreu em Genebra a 16 de setembro de 1980.

¹⁸ Em Inteligência Artificial, a ideia de auto-organização no sentido de representar aspectos do mundo externo é materializada através dos Mapas Auto Organizáveis (KOHONEN, 1997).

Outra contribuição valiosa à concepção construtivista é dada pela teoria sócio-interacionista¹⁹ do russo Vygotsky²⁰, contemporâneo de Piaget (FREITAS, 1994).

O sócio-interacionismo valoriza muito a cultura e a história no processo de construção do conhecimento. Entende que o “ensinar” e o “aprender” são simultâneos, e se realizam impulsionados pela necessidade de transformação da realidade existente. Quanto à produção e a ampliação do conhecimento, a teoria sócio-interacionista baseia-se numa perspectiva de desenvolvimento apoiada na concepção de um sujeito ativo, em que o pensamento é constituído de maneira gradativa em um ambiente histórico e, em essência, social (GIRAFFA, 1995).

Para VYGOTSKY (1998), a aprendizagem não acontece de maneira isolada, o indivíduo participante de um grupo social, ao conviver com outras pessoas efetua trocas de informações e, desta forma, vai construindo o seu conhecimento conforme seu desenvolvimento psicológico e biológico lhe permite.

“... A história do desenvolvimento das funções psicológicas superiores seria impossível sem um estudo de sua pré-história, de suas raízes biológicas, e de seu arranjo orgânico. As raízes do desenvolvimento de duas formas fundamentais, culturais, de comportamento, surgem durante a infância: o uso de instrumentos e a fala humana. Isso, por si só coloca a infância no centro da pré-história e do desenvolvimento cultural...”, (VYGOTSKY, 1998, p.61).

Incrementando a noção construtivista de que conhecimento se dá a partir da ação do sujeito ativo sobre a realidade, VYGOTSKY observou que o sujeito não é apenas ativo, mas interativo. Isto é, constitui conhecimentos que são adquiridos, inclusive, de

¹⁹ Também conhecida como interacionismo, construtivismo sócio-interacionista, sócio-construtivista ou ainda Construtivismo Histórico Social.

²⁰ Lev Semiónovitch Vygotsky nasceu na Bielorrússia, em 5 de novembro de 1896. Graduou-se em Direito pela Universidade de Moscou, dedicando-se, posteriormente, à pesquisa literária. Entre 1917 e 1923 atuou como professor e pesquisador no campo de Artes, Literatura e Psicologia. A partir de 1924, em Moscou, aprofundou sua investigação no campo da Psicologia, envolvendo-se também com Educação de Deficientes. No período de 1925 à 1934, desenvolveu, com outros cientistas, estudos nas áreas de Psicologia e das anormalidades físicas e mentais. Ao concluir outra formação, em Medicina, foi convidado para dirigir o Departamento de Psicologia do Instituto Soviético de Medicina Experimental. Faleceu em 11 de junho de 1934.

forma intrapessoal em relações interpessoais²¹. Na interação com outros sujeitos, internalizam-se conhecimentos, papéis e funções sociais, permitindo a constituição não apenas de conhecimentos, mas da própria consciência.



Figura 8: Lev S. Vygotsky (1896-1934), professor e pesquisador.

Outro conceito fundamental da teoria de Vygotsky é o da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). Quando se fala em ZDP é necessário definir quais são os níveis de desenvolvimento do aprendiz. Para VYGOTSKY (1998), existem dois níveis de desenvolvimento: o real e o potencial. O primeiro pode ser considerado como o desenvolvimento das funções mentais já amadurecidas, resultado de certos ciclos de desenvolvimento já completados. Já o segundo é “o que pode vir a ser”, ou seja, o que pode ser desenvolvido no indivíduo. A passagem do nível de desenvolvimento real para o potencial ocorre por uma fronteira denominada pelo autor de: zona de desenvolvimento proximal. Em outras palavras:

- a. Nível de Desenvolvimento Real (NDR): define funções que o aprendiz já possui.
- b. Nível de Desenvolvimento Potencial (NDP): determina as funções que o aprendiz pode desenvolver, através da orientação de um tutor ou em cooperação com outros

²¹ Existe, hoje em dia, a interessante abordagem que observa e permite trabalhar o equilíbrio entre o intrapessoal e o interpessoal em grupos sociais, denominada de Inteligência Emocional (GOLEMAN, 1995, 2002).

aprendizes com maior conhecimento sobre o problema em questão.

VYGOTSKY (1998) explica em seu trabalho que a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) é a distância entre o nível de desenvolvimento real e o potencial. Podendo ser equacionada da seguinte forma:

$$ZPD = NDP - NDR \quad (1)$$

“... A zona de desenvolvimento proximal define aquelas funções que ainda não amadureceram, mas que estão em processo de maturação, funções que amadurecerão, mas que estão presentemente em estado embrionário. Essas funções poderiam ser chamadas de brotos, ou flores do desenvolvimento, em vez de frutos do desenvolvimento. O nível de desenvolvimento real caracteriza o desenvolvimento mental retrospectivamente, enquanto a zona de desenvolvimento proximal caracteriza o desenvolvimento mental prospectivamente...”, (VYGOTSKY, 1998, p. 98).

Conclui-se que o foco das pesquisas de Vygotsky reside no reconhecimento de que a interação social possui um papel fundamental no desenvolvimento cognitivo²². Vygotsky considera que toda a função no desenvolvimento cognitivo de um indivíduo aparece primeiramente no nível social, entre pessoas, e depois no nível individual, ou seja, internamente ao próprio sujeito.

Por fim, a teoria cognitivista de David Ausubel²³ afirma que aprendizagem só ocorre de forma significativa se houver bases para se ancorar, que quando se recebe um novo conhecimento, esse por sua vez deve se correlacionar com o saber prévio, para que as estruturas cognitivas trabalhem para internalizar esse novo saber. Essa interação constitui para Ausubel, uma experiência consciente, claramente articulada e precisamente diferenciada, que emerge quando sinais, símbolos, conceitos e proposições potencialmente significativos são relacionados à estrutura cognitiva e nela incorporados, (MASINI, 1999).

²² Relativo aos processos de aquisição do conhecimento.

²³ David Paul Ausubel foi um psicólogo estadunidense atuante na área de educação, nasceu em Nova Iorque em outubro de 1918 e faleceu em julho de 2008.

Segundo AUSUBEL (1978), a aprendizagem é a organização e integração do conhecimento na estrutura cognitiva, por meio de uma estrutura hierárquica de conceitos. Dessa forma, pode-se afirmar que quanto mais conhecimento prévio o indivíduo possui, e maior for a importância desse saber em determinado momento, mais os conhecimentos serão internalizados por ele.



Figura 9: David Paul Ausubel, psicólogo.

A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel vem de encontro com os problemas relativos ao processo de ensino-aprendizagem observados atualmente nas instituições de ensino. Conforme mencionado anteriormente, a tecnologia mudou o comportamento dos indivíduos, porém o sistema de ensino permanece quase inalterado. Por essa razão, torna-se difícil o diagnóstico do motivo dessa aprendizagem não fazer sentido para os aprendizes de hoje, que apresentam falta de interesse em aprender pelo método tradicional. Por meio da análise, levando-se em conta a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, pode-se entender e considerar o indivíduo como o principal personagem nesse processo, criando soluções que auxiliem no seu aprendizado.

“... A aprendizagem significativa tem vantagens notáveis, tanto do ponto de vista do enriquecimento da estrutura cognitiva do aluno como do ponto de vista da lembrança posterior e da utilização para experimentar novas aprendizagens, fatores que a delimitam como sendo a aprendizagem mais adequada para ser promovida entre os alunos...”, (PELIZZARI et al, 2002).

O estudo da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, leva a observar

outras perspectivas no processo de ensino-aprendizagem. MOREIRA (2006) afirma que a aprendizagem significativa acontece quando há uma conexão entre a realidade do indivíduo com o conhecimento que se deseja construir, se não existir essa relação, a aprendizagem fica perdida, pois é apenas mecânica.

“... Na aprendizagem significativa o novo conhecimento nunca é internalizado de maneira literal, porque no momento em que passa a ter significado para o aprendiz entra em cena o componente idiossincrático da significação. Aprender significativamente implica atribuir significados e estes têm sempre componentes pessoais. Aprendizagem sem atribuição de significados pessoais, sem relação com o conhecimento preexistente, é mecânica, não significativa...”, (MOREIRA, 2006).

Portanto, a aprendizagem não pode ficar restrita somente a conteúdos, métodos e processos de ensino. O conhecimento não pode apenas ser transmitido pelo professor e aprendido passivamente pelo aprendiz, pois ensinar e aprender com sentido requer interação, emoção, percepção e envolvimento de todas as partes. O caminho para a aprendizagem significativa não é linear, mas um conjunto de ações que levam ao desenvolvimento cognitivo, afetivo e social do indivíduo.

2.4 ESTILOS DE APRENDIZAGEM

Antes de aprofundar no tema “estilos de aprendizagem”, torna-se necessário entender melhor a “aprendizagem” sob o ponto de vista de cientistas que dispensaram bastante tempo em seus respectivos estudos.

Muitos autores se referem à aprendizagem como um processo constante e natural da vida de todo ser. De acordo com SKINNER (1982), a aprendizagem seria basicamente uma mudança comportamental, ou seja, o indivíduo que aprende demonstra saber algo que não sabia antes.

A preocupação com a assimilação de informações e aprendizagem pode ser observada com bastante frequência, seja por estudiosos do processo de ensino-aprendizagem, ou por profissionais de outras áreas, mesmo que de forma inconsciente.

Atualmente o jornalismo tem adotado o uso de infográficos²⁴ para passar informações de forma mais clara e simples para o público alvo, por exemplo.

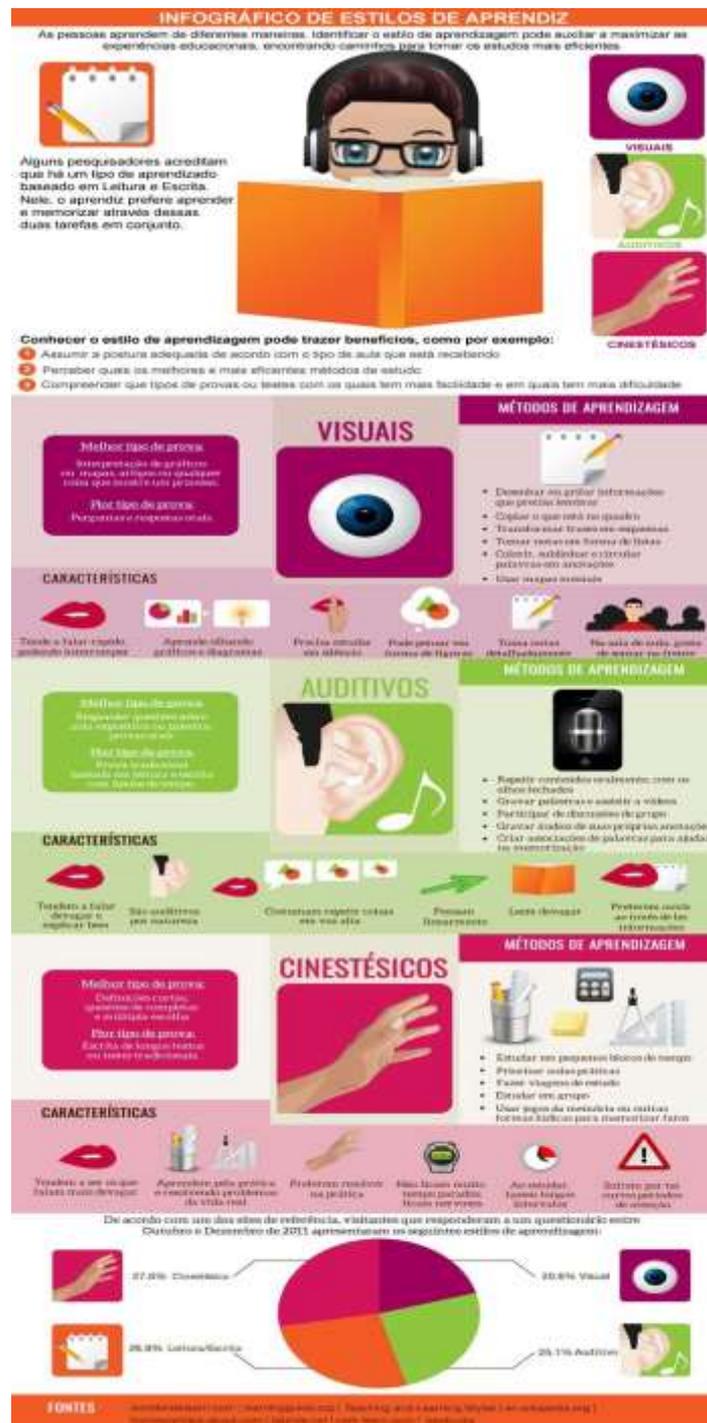


Figura 10: Exemplo de infográfico (adaptado de: lendo.org).

²⁴ Apresentação de informações com preponderância de elementos gráfico-visuais (fotografia, desenho, diagrama estatístico etc.) integrados em textos sintéticos e dados numéricos. Atualmente muito empregado em jornalismo como complemento ou síntese ilustrativa de uma notícia; relativo à infografia.

Empiricamente, não é difícil perceber que indivíduos de um grupo com características similares (classe social, idade, nacionalidade, cultura, entre outros) preferem aprender de maneiras diferentes, isto é, elas possuem preferências no que diz respeito à forma de assimilação do conteúdo apresentado para a sua aprendizagem. Tais preferências são denominadas de “estilos de aprendizagem”, que se referem ao modo pelo qual cada aprendiz começa a se concentrar, processar e reter informações novas e difíceis. Segundo DUNN²⁵ *et al.* (1989), um conjunto de características pessoais faz com que o mesmo método de ensino seja efetivo para alguns aprendizes e ineficaz para outros.



Figura 11: Rita Dunn – professora e pesquisadora.

Segundo metáfora concebida por HONEY e MUMFORD (1986), muito frequentemente os professores tomam os aprendizes como “baldes vazios” e esperam preenchê-los por meio do seu método favorito. Todavia, os professores costumam, convenientemente, negligenciar o fato de os "baldes" possuírem tamanhos, formas, permeabilidade, capacidades diferentes.

Embora alguns indivíduos considerados “superdotados” possam aprender com

²⁵ Rita Dunn, autoridade reconhecida em estilos de aprendizagem, foi Professora da Divisão de Administração e Liderança Instrucional e diretora do Centro para o Estudo de Estilos de Ensino Aprendizagem, na Universidade de St. John, em New York. Faleceu em agosto de 2009 em decorrência de um câncer de mama.

eficiência sem que suas preferências de aprendizagem sejam consideradas, alunos não “superdotados” alcançam desempenho significativamente melhor quando suas preferências são levadas em consideração. Uma década de pesquisas demonstra vários casos nos quais ocorre baixa e média melhoria de aprendizagem, os aprendizes apresentam altas pontuações em testes quando há o ensino por meio de preferências de estilo de aprendizagem (DUNN *et al.*, 1989).

Nas últimas décadas, estudos e pesquisas sobre como ajudar as pessoas a aprender (e aprender eficientemente) se tornaram bastante frequentes (MUMFORD, 1982). Com base em algumas dessas pesquisas, é possível afirmar que pessoas possuem diferentes estilos de aprendizagem que indicam preferência por formas particulares de aquisição do conhecimento.

Diversos autores apresentam abordagens distintas envolvendo a forma de aprendizado individual. Por exemplo, em seu estudo MESSICK (1976) explana que existem dezenove dimensões diferentes de aprendizagem (quando um autor menciona que há “X” dimensões, significa que os indivíduos são avaliados por nessas “X” dimensões, porém, cada indivíduo possui "maior pontuação" dentro de algumas dessas dimensões e, o resultado final dentro das dimensões “x1, x2, x3,..., xn” é que determina sua preferência por uma forma de aprendizado). WITKIN²⁶ (1976) apresenta um estudo no campo dependente e campo independente de estilos cognitivos, concentrando-se nas diferenças no modo individual de estruturar e analisar informações. PASK e SCOTT (1972) identificaram as estratégias analítica (ou serialista) e holística²⁷ e afirmam que tais estratégias são manifestações das diferenças básicas no modo como as pessoas aprendem e resolvem problemas.

De acordo com DUNN *et al.* (1977), a orientação da aprendizagem de uma pessoa

²⁶ Herman A. Witkin (1916 - 1979) foi um americano psicólogo que se especializou nas áreas da psicologia cognitiva e psicologia de aprendizagem, sendo um pioneiro da teoria de estilos cognitivos e estilos de aprendizagem.

²⁷ Segundo os autores, os indivíduos possuem duas formas de aprendizagem: analítica e holística. Os indivíduos que possuem estilos cognitivos da forma analítica apresentam as seguintes características: independência de campo, reflexão, receptividade/sistematização, foco, seriação (ato de seriar), convergência, partição, aprofundamento, códigos analíticos/verbais e complexidade cognitiva. Em oposição, já os indivíduos que demonstram estilos cognitivos na forma holística apresentam as seguintes características: dependência de campo, impulsividade, percepção/intuição, varredura, holista, divergência, capacidade de totalizar, nivelamento, codificação visual/analógica, simplicidade cognitiva.

é talvez o fator determinante mais importante de sua realização educacional. Logicamente, quanto maior sua congruência com o método pedagógico usado, maior a chance de sucesso (HAYES, 1988).

Nos últimos anos, muitos autores pesquisaram o conceito de estilos de aprendizagem (DELAHAYE, 1991). Porém, o modelo de KOLB²⁸ (1976) tem estimulado a maioria das pesquisas sobre o assunto. Os autores HONEY e MUMFORD (1996) e FELDER e SILVERMAN (1988) desenvolveram instrumentos baseados no modelo de Kolb.

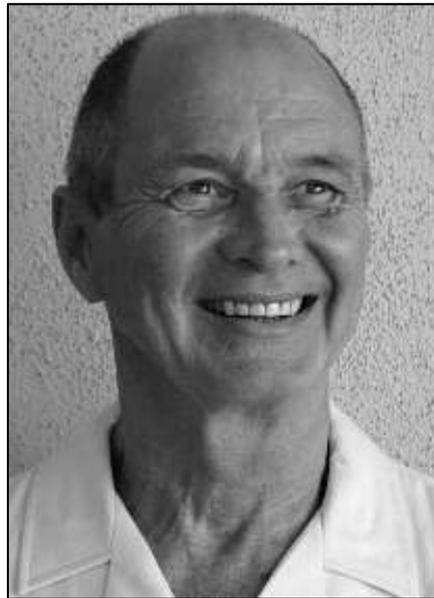


Figura 12: David A. Kolb - psicólogo.

2.4.1 TEORIA DE APRENDIZAGEM DE KOLB

A teoria de KOLB (1984) apresenta as dimensões estruturais que formam a base do processo de aprendizagem experimental e formas de conhecimento básico resultantes. O modelo de Kolb é baseado principalmente no trabalho dos teóricos da aprendizagem experimental, DEWEY²⁹ (1900), Kurt Lewin³⁰ e Jean Piaget (apresentado

²⁸ David A. Kolb, nascido em 1939 nos EUA, é psicólogo, professor de comportamento organizacional e teórico da área educacional, cujos trabalhos se concentram em aprendizagem experimental, no indivíduo e mudança social, desenvolvimento de carreira e educação profissional.

²⁹ John Dewey (1859 – 1952) foi um filósofo, psicólogo e reformador educacional americano. Considerado uma das principais figuras associadas com a filosofia do pragmatismo e considerado um dos fundadores da psicologia funcional.

³⁰ Kurt Zadek Lewin (1890 – 1947) foi um psicólogo alemão-americano, pioneiro em psicologia social, organizacional e psicologia aplicada.

anteriormente) e influenciado principalmente pelo trabalho de Carl Jung³¹.

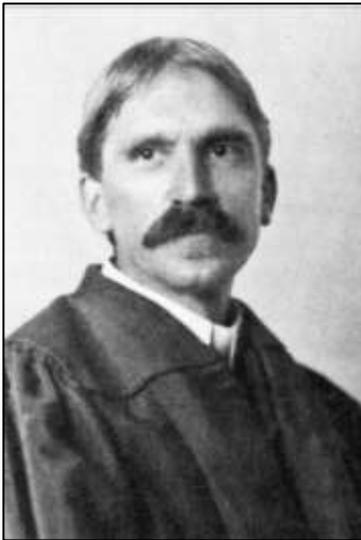


Figura 13: John Dewey.



Figura 14: Kurt Lewin.

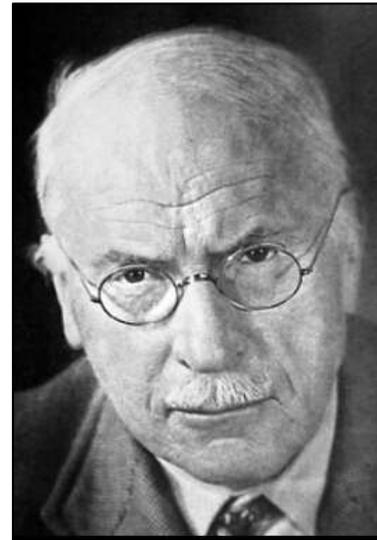


Figura 15: Carl Jung.

De acordo com vários psicólogos, o desenvolvimento cognitivo se divide em duas dimensões bipolares: abstrato-concreta e ativo-reflexiva. A primeira varia de lidar com objetos tangíveis até lidar com conceitos teóricos. A segunda varia da participação direta para a observação detalhada (KEEN, 2003).

Kolb combina as duas dimensões em seu modelo para identificar duas atividades de aprendizagem: processo e percepção. Para melhor exemplificar, algumas pessoas percebem melhor a informação através dos sentidos (visão, audição, tato,...) quando vivenciam experiências concretas, outras percebem melhor a informação de forma abstrata, através de conceitos mentais, reflexão, do pensamento, fazendo uso de símbolos ou modelos conceituais. Algumas pessoas processam a informação percebida através da observação reflexiva (assistindo e observando a informação), enquanto outras processam a informação percebida através de experimentação ativa (fazendo algo com a informação) – (CARDOSO, 1998). O teórico apresentou quatro tipos de aprendizagem, representados pelos quadrantes (Q1, Q2, Q3, e Q4) da Figura 16, como estilos de aprendizagem.

³¹ Carl Gustav Jung (1875 – 1961) foi um psiquiatra e, também, psicoterapeuta suíço, considerado pai da psicologia analítica.

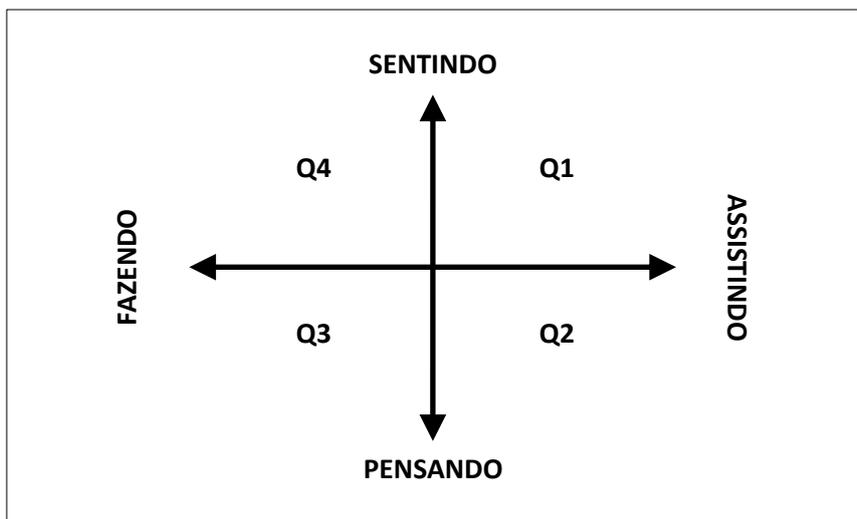


Figura 16: Atividades de aprendizagem.

Analisando-se a figura acima, no primeiro quadrante (Q1) os indivíduos percebem através de sentidos e processam através da observação reflexiva. De forma semelhante, cada um dos demais quadrantes permite especificar tipos de aprendizes.

Kolb utiliza os quatro extremos para definir quatro fases do ciclo de aprendizagem, conforme mostra a Figura 17. O eixo horizontal divide os indivíduos que preferem entre observação reflexiva (assistindo) e experimentação ativa (fazendo). No eixo vertical discrimina-se entre conceituação abstrata (pensando) e experiência concreta (sentindo) (HARB, 1995).

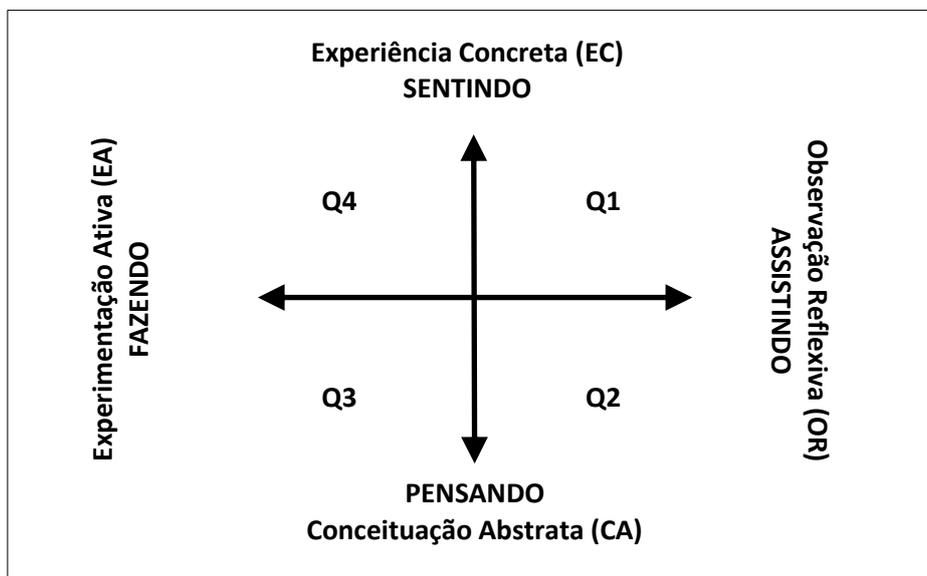


Figura 17: Ciclo de aprendizagem.

Na fase “Experiência Concreta” (EC), aprende-se através de experiências específicas, sensibilidade e sentimentos interpessoais. Dá-se mais ênfase ao sentimento

do que ao pensamento ou lógica. A ideia é ser aberto, adaptável e intuitivo. O sentimento e valorização são atividades mentais dominantes.

Na fase de “Observação Reflexiva” (OR) o indivíduo torna-se um observador objetivo. A ideia é saber se separar do experimento antes de realizar um julgamento, observando a ocorrência de tantas perspectivas diferentes quanto possível. A forma dominante é a vigilância paciente e a reflexão pessoal para julgar.

A “Conceituação Abstrata” (CA) é a fase em que o indivíduo planeja e tenta, logicamente e sistematicamente, organizar a informação em teorias, conceitos e ideias. O indivíduo preocupa-se em construir teorias gerais ao invés de tentar entender situações ou áreas específicas de forma intuitiva. O foco está em pensar ao invés de sentir.

Na fase “Experimentação Ativa” (EA) o indivíduo possui habilidade para obter informações prontas, é diretamente envolvido com o ambiente. O mundo é dirigido, testado e manipulado para obter uma resposta. A ideia é encontrar o que de fato funciona e obter resultados práticos. Teste é o modo dominante.

KOLB (1976) identifica quatro tipos diferentes de aprendizes através de seu ciclo de aprendizagem, constituídos pela combinação das dimensões opostas das duas atividades de aprendizado (percepção e processo). Os quatro estilos de aprendizagem: diversificador, assimilador, solucionador e adaptador, conforme a Figura 18.



Figura 18: Estilos de aprendizagem.

Os “Diversificadores” (concreto/reflexivo) tendem a ser altamente individualistas e buscam o máximo na escolha pessoal. São motivados para descobrir a relevância ou o porquê de uma situação. Gostam de argumentar com informações específicas, explorando o que o assunto tem a oferecer e preferem a informação apresentada de maneira detalhada, sistemática e discutida. Para esses indivíduos o professor necessita responder às suas questões, apresentar sugestões e possuir referências e resumos sempre à mão. Flexibilidade e habilidade para pensar são recursos para trabalhar com eles (KOLB, 1976).

Os “Assimiladores” (observador/reflexivo abstrato) buscam assimilar novas ideias e pensamentos. São indivíduos que se sentem bem explorando algo casualmente. Entre as técnicas voltadas para se trabalhar com esses indivíduos, estão: conferências ou apresentações de vídeo, seguidas por demonstrações, pela exploração do assunto em um laboratório, sempre com uma preparação tutorial. Esses indivíduos gostam de exercícios preparados cuidadosamente pelo professor, de contar sempre com alguém disponível como recurso para respostas às suas dúvidas (KOLB, 1984).

Os “Solucionadores” (experiência/ativo abstrato) procuram soluções para problemas práticos. Se sentem motivados para descobrir a relevância ou o “como” de uma situação. A aprendizagem é maior quando esses indivíduos recebem as informações sobre as “operações” que deverão realizar. Os Métodos que colaboram com este estilo, são os que incluem: instrução interativa, não passiva; problemas fixos ou exercícios para exploração (KOLB, 1984).

Ainda segundo KOLB (1984), os “Adaptadores” (experiência/ativo concreto) se adaptam facilmente a novas situações. São motivados pela pergunta “e se?”. Procuram significado na experiência de aprendizagem. Existe uma variedade de técnicas para este estilo de aprendizagem. Tudo aquilo que venha a encorajar a descoberta independente é o mais desejável, pois os adaptadores preferem ser ativos em sua aprendizagem. Segundo HARTMANN (1995), o professor deve proporcionar atividades de laboratórios, trabalhos e pesquisas de campo.

KOLB (1976) utiliza o Inventário de Estilo de Aprendizagem (IEA), um questionário autodescritivo para medir estilos de aprendizagem. O inventário mede a “relativa ênfase conforme cada modo do processo de aprendizagem” do examinado, ou seja, o estilo preferido de qualquer indivíduo aprendiz pode ser determinado por meio

do IEA.

O IEA contém nove conjuntos de quatro palavras que precisam ser ordenadas dentro de cada conjunto de acordo como bem elas caracterizem a orientação de aprendizagem dos aprendizes testados. Isso produz uma contagem relativa a cada uma das quatro fases de aprendizagem (experiência concreta, observação reflexiva, conceituação abstrata e experimentação ativa) das atividades de aprendizagem. Tais resultados são utilizados para gerar duas outras contagens: posição referente do aprendiz na dimensão ativo-reflexiva (indicada pela subtração de observação reflexiva da experimentação ativa) e posição referente do examinando na dimensão abstrato-concreta (indicada pela subtração da experiência concreta da conceituação abstrata) (KINSHUK, 1996).

Um exemplo de resultado de aplicação de um teste utilizando o IEA pode ser visto na Figura 19.

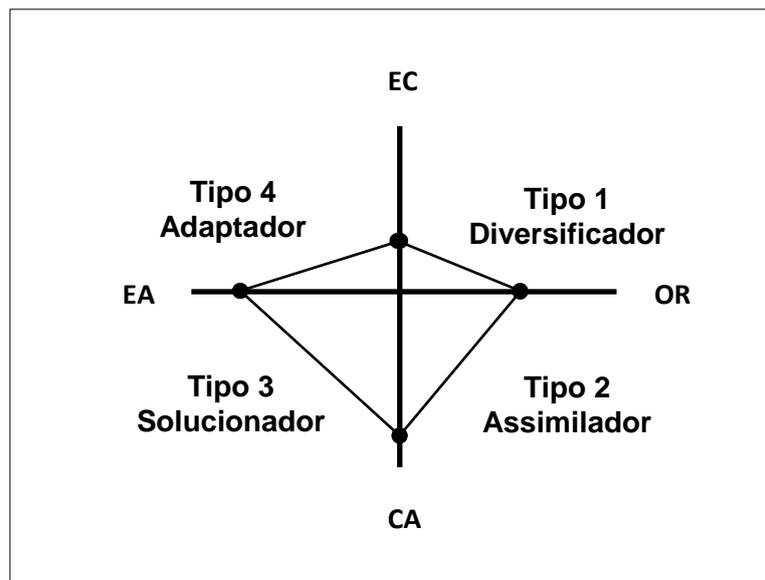


Figura 19: Exemplo de resultado do Inventário de Estilo de Aprendizagem (IEA).

Na aplicação do instrumento, um ciclo de aprendizagem indica até que ponto o aprendiz fia-se em cada uma das quatro fases de aprendizagem, permitindo determinar seu estilo de aprendizagem.

Apesar do modelo de Kolb se mostrar aceitável, recebeu críticas de outros estudiosos da área, dando a entender que há a necessidade de uma medida mais apropriada e segura de estilos de aprendizagem do que o IEA. Uma alternativa mais promissora pode ser o Questionário de Estilos de Aprendizagem (QEA) desenvolvido

por HONEY e MUMFORD (1986). Embora o QEA também tenha recebido críticas de alguns pesquisadores, por seus defeitos na construção válida e tenha apresentado falhas em algumas ocasiões para mostrar correlações significantes entre seus quatro estilos de aprendizagem (GOLDSTEIN, 1992, TEPPER, 1993) este modelo tem sido o instrumento de estilo de aprendizagem mais favorecido na literatura para avaliação de módulos de Aprendizagem Suportada por Computador, assunto abordado no Capítulo 3 (Seção 3.6) (ALLISON *et al.*, 1988, ALLISON *et al.*, 1990, FURNHAM, 1992, HAYES, 1988). Ele também foi usado por estudantes de cursos empresariais (TEPPER, 1993).

2.4.2 ABORDAGEM DE HONEY & MUMFORD

O modelo de Kolb apresenta-se como referencial teórico para o Questionário de Estilos de Aprendizagem (QEA) de HONEY³² e MUMFORD (1986) que possui quatro estilos: teórico, ativista, refletor e pragmático. O modelo de Kolb descreve a aprendizagem como um processo contínuo, como ilustrado pela Figura 20.



Figura 20: O Modelo de Kolb.

Um aprendiz pode começar em qualquer ponto do ciclo porque cada fase alimenta a próxima (KINSHUK, 1996). Por exemplo, um aprendiz poderia iniciar pela Fase 2,

³² Peter Honey é psicólogo e fundador da Peter Honey Publications Ltd. Trabalhou para companhias como a Ford Motor Company e British Airways e como consultor para Bank of England, AstraZeneca, the Automobile Association, American Express, entre outras. Membro da Royal Society for the encouragement of Arts, Manufactures and Commerce, do Chartered Institute of Personnel Development, do Institute of Management Consultants e do Institute of Training and Occupational Learning.

adquirindo algumas informações e ponderando sobre as mesmas antes de chegar a alguma conclusão (Fase 3), em seguida decidiria como aplicá-las (Fase 4).

Nenhuma das fases, apresentadas anteriormente, é completamente efetiva como um procedimento de aprendizagem em si. Cada fase possui um papel igualmente importante no processo total, entretanto o tempo gasto em cada uma pode variar consideravelmente.

A maioria das pessoas desenvolve preferências por certas fases. As preferências conduzem a uma distorção no processo de aprendizagem de forma que se dê maior ênfase a algumas fases, em detrimento de outras.



Figura 21: Peter Honey – psicólogo.

Indivíduos que possuem preferência por experimentação desenvolvem hábito por atividades a ponto de não ficarem sentadas e estarem constantemente em movimento, resultando em muitas experiências. Essas pessoas supõem que ter experiências é sinônimo de aprender.

Aqueles que possuem preferência por revisão evitam experiências e adiam chegar a conclusões tanto tempo quanto possível. Com esse comportamento, acreditam que mais dados serão coletados, resultando em uma “análise por paralisia”, tendência a bastante ponderação e pouca ação.

Preferência por conclusão denota pessoas que possuem uma compulsão por alcançar uma resposta rapidamente. Isto resulta em uma disposição em tirar conclusões precipitadas, evitando-se a fase de revisão onde incerteza e a ambiguidade são altas. As conclusões são confortantes até mesmo se elas forem erradas.

Pessoas que possuem preferência por não deixar escapar um vantajoso curso de ação e implementação (com uma análise inadequada) tendem a fazer “arrumadelas”, dar ênfase excessiva às fases “planejando” e “experimentando” em detrimento das fases “revisando” e “concluindo”.

HONEY e MUMFORD (1986) descrevem os quatro estilos de aprendizagem da seguinte forma:

- a. **Ativistas:** envolvem completamente em experiências novas. Desfrutam o aqui e agora e são felizes por serem dominados por experiências imediatas. São compreensivos e não céticos, fazendo com que sejam entusiasmados diante de novidades. Tendem a agir primeiro e considerar as consequências depois. Tentam resolver problemas juntando ideias e, tão logo a excitação de uma atividade tenha diminuído, ocupam-se em procurar a próxima excitação.
- b. **Refletores:** Gostam de suporte para ponderar experiências e as observa de diferentes perspectivas. Colecionam dados (de primeira mão e de outros) e preferem pensar completamente neles antes de chegar a qualquer conclusão. A coleção e a análise completa dos dados sobre experiências é o que conta. Dessa forma, eles tendem a adiar o alcance definitivo de conclusões tanto quanto possível.
- c. **Teóricos:** adaptam e integram observações de maneira complexa, mas de maneira lógica, como as teorias. Pensam nos problemas de uma maneira vertical, passo a passo, assimilando fatos discrepantes em teorias coerentes. Tendem a ser perfeccionistas e não descansam facilmente até que as coisas estejam organizadas e ajustadas em um esquema racional.
- d. **Pragmáticos:** se destacam por experimentar ideias, teorias e técnicas para ver se elas funcionam na prática. Procuram novas ideias e aproveitam a primeira oportunidade para aplica-las. Eles são o tipo de pessoa que volta de cursos da

área de administração cheio de novas ideias, as quais quer experimentar. Preferem lidar com coisas e agem de forma rápida e confiante em ideias que os atraem. Tendem a ser impacientes com delongas ou discussões em aberto.

Cada um dos estilos é associado a uma fase do ciclo de aprendizagem contínuo, conforme ilustrado na Figura 22, (HONEY e MUMFORD, 1986).

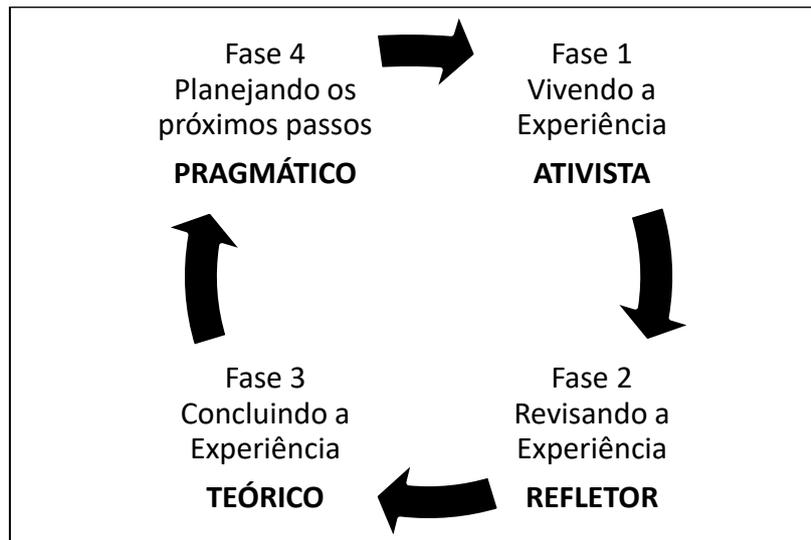


Figura 22: Estilos de Aprendizagem de HONEY e MUMFORD (1986).

Apesar de HONEY e MUMFORD (1986) considerarem aceitável o ciclo de aprendizagem de Kolb, os referidos autores se mostraram insatisfeitos como IEA devido ao uso de uma palavra descritiva como base para atribuir estilo e em face da validade dos próprios estilos. Na abordagem deles, no desenvolvimento do QEA, o próprio comportamento observável foi focado, em vez de sua base psicológica. Também identificaram estilos de aprendizagem que são significantes à população administrada.

O QEA inclui 80 declarações que os examinandos são solicitados marcar, indicando concordância ou discordância (“V” ou “F”, por exemplo). O objetivo é descobrir tendências gerais de comportamento e nenhum item tem mais peso que outro. As 80 declarações compreendem quatro subconjuntos de 20 itens fortuitamente ordenados, cada subconjunto mede estilos de aprendizagem particulares.

A contagem do questionário é bastante direta: Um ponto para cada item que recebeu “V” e nenhum ponto para cada item marcado com “F”. Dessa forma, nenhum estilo de aprendizagem alcançará mais do que vinte pontos. A contagem “ordena” os itens e lista todas as prováveis tendências ativistas, reflexivas, teóricas ou pragmáticas.

Contagens brutas só são significativas quando vistas no contexto de dados normativos. As normas são calculadas pela análise das contagens reais de pessoas que completaram o questionário. Tais normas são referenciadas como normas gerais devido ao fato delas serem baseadas em uma grande população.

2.4.3 MODELO DE FELDER

Os autores FELDER³³ e SILVERMAN³⁴ (1988) propuseram um modelo de estilos de aprendizagem baseado em cinco dimensões de aprendizagem: percepção, entrada, organização, processamento e compreensão. Segundo o modelo, conforme apresenta a Figura 23, as dimensões possuem dicotomias.

<i>Dimensões de estilos de aprendizagem</i>	
<i>Percepção</i>	{ <i>Sensorial</i> <i>Intuitiva</i>
<i>Entrada</i>	{ <i>Visual</i> <i>Aural</i>
<i>Organização</i>	{ <i>Indutiva</i> <i>Reflexivo</i>
<i>Processamento</i>	{ <i>Sequencial</i> <i>Global</i>

Figura 23: Dimensões de Estilos de Aprendizagem (FELDER e SILVERMAN,1988).

³³ Richard Felder nasceu em Nova York em 1939. Professor Emérito de Engenharia Química da Universidade Estadual da Carolina do Norte. Ele também é um renomado autor e pesquisador nas áreas de engenharia e educação. Suas pesquisas e publicações lidam com muitos aspectos do ensino e da aprendizagem. Dá ênfase em métodos de ensino centrados no aprendiz, incluindo a aprendizagem ativa e aprendizagem cooperativa (assunto abordado no Capítulo 3).

³⁴ Linda Kreger Silverman é psicóloga, pesquisadora e palestrante. Estuda as diferenças de aprendizagem. Seu Ph.D. é em educação especial da Universidade do Sul da Califórnia. Em 1979 fundou o Centro de Desenvolvimento de Superdotados, onde mais de 6.000 crianças foram avaliadas. Em 1981, Linda cunhou o termo "aprendiz visual-espacial" e desenvolveu técnicas e métodos para identificação e melhoria de estratégias de ensino.

É possível notar que dimensões propostas derivam de outros modelos. Por exemplo, a dimensão da percepção é uma das quatro dimensões do modelo baseado na teoria de Jung de tipos psicológicos, enquanto que a quarta dimensão (processamento) é um componente da teoria de estilos de aprendizagem desenvolvida por Kolb (explicada na Seção 2.4.1).

Proposta por FELDER e SILVERMAN (1988), a estrutura conceitual apresenta 32 (2^5) estilos de aprendizagem. Por exemplo, o estilo de aprendizagem (sensorial/aural/dedutiva/ativa/sequencial) define as preferências para percepção sensorial, entrada aural, organização dedutiva, processamento ativo e compreensão sequencial. Vale ressaltar que as dicotomias se apresentam nos indivíduos de forma suave, moderada ou acentuada, indicando preferências por algumas dimensões. Dessa forma, o indivíduo pode possuir uma suave preferência pela aprendizagem ativa em relação à aprendizagem reflexiva, por exemplo.



Figura 24: Richard Felder - professor e pesquisador.



Figura 25: Dr. Linda K. Silverman – psicóloga.

A preferência pelo estilo visual, segundo o modelo Felder/Silverman, indica que o indivíduo prefere receber a informação em forma de figuras, filmes, símbolos, gráficos, mapas, demonstrações, dentre outros. Por sua vez, o indivíduo que apresenta o estilo aural consegue tirar maior proveito da palavra falada ou escrita (BARBOSA, 2002). A percepção intuitiva ocorre fundamentalmente através de informação do inconsciente sob a forma de especulação e imaginação, ao passo que a percepção sensorial ocorre fundamentalmente através dos sentidos. Na organização indutiva as teorias unificadoras são resultados do estudo de casos individuais, isto é, parte de algo particular para uma teoria geral, enquanto que na organização dedutiva as aplicações e soluções particulares

aparecem como consequência de uma ideia geral³⁵.

Observa-se que a informação percebida pelo indivíduo é transformada em conhecimento através de dois modos:

- a. Experimentação Ativa: envolve o uso externo da informação seja através de discussão, explicação ou de teste por aplicação a uma situação (vivência);
- b. Observação Reflexiva: consiste em exame e manipulação mental da informação.

Analisando-se o texto dos autores supracitados, identifica-se que os indivíduos de estilo Ativo preferem estudar em um grupo e trabalhar em procedimentos experimentais em que possam exercitar os conhecimentos adquiridos. Já os que possuem o estilo Reflexivo preferem o estudo individual e procedimentos teóricos como interpretação, analogia e formulação de modelos.

Observa-se que alguns indivíduos preferem a forma sequencial, lógica e encadeada de apresentação do conhecimento (característica das ciências exatas e da engenharia), já outros, aprendem aos saltos, necessitando da visão de conjunto para poder compreender os detalhes (chamados de “aprendizes globais”).

FELDER (1995), após alguns estudos, realizou importantes alterações no modelo de estilos de aprendizagem. Eliminou a dimensão “organização” e alterou a categoria “visual/aural” para “visual/verbal”. O questionário utilizando-se do modelo proposto por FELDER (1995), bem como a forma de pontuar as respostas, foi traduzido e pode ser observado no Apêndice 2 do presente trabalho.

2.5 AVALIAÇÃO NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM

Conforme já mencionado, o sistema educacional tradicional baseia-se em exposição e avaliação. Observa-se que a avaliação, tal como é aplicada atualmente, tem como pretensão verificar aprendizagem ou competências por medidas ou quantificações,

³⁵ A indução é considerada como o estilo mais natural de aprendizado, sendo também a maneira pela qual o conhecimento é, predominantemente, adquirido ao longo do tempo. Por outro lado, considera-se que a dedução seja o estilo natural de ensino de assuntos técnicos e de organização do conhecimento já adquirido.

pressupondo que as pessoas aprendam do mesmo modo, nos mesmos momentos e tenta evidenciar competências isoladas (FELTRINI, 2001). Porém, como explanado na Seção 2.4, algumas pessoas apresentam maiores condições de aprender, aprendem mais e melhor diante de uma forma de exposição. Outras, com características distintas, que não respondem tão bem ao conjunto de disciplinas, com a mesma forma de exposição, aprendem cada vez menos e são muitas vezes excluídos do processo de ensino aprendizagem.

O ato de avaliar sugere coleta, análise e síntese de dados ou fatos que representam o objeto da avaliação, passando a ideia de atribuição de valor ou de qualidade, que se processa a partir da comparação do objeto avaliado com um determinado padrão de qualidade ou valor previamente estabelecido (SANTOS e VARELA, 2007).

Segundo LUCKESI (2002), a avaliação envolve um ato que ultrapassa a obtenção da configuração do objeto, exigindo decisão do que fazer com ele, diferente a verificação. A verificação é uma ação que “congela” o objeto enquanto a avaliação tem como intenção direcionar o objeto numa trilha dinâmica da ação.

Segundo, HAYDT (2000), LUCKESI (2002) e SANT’ANNA (2001) a avaliação apresenta-se em três modalidades: diagnóstica, formativa e somativa.

De acordo com HAYDT (2000), a avaliação somativa tem como função classificar os aprendizes ao final do curso, da unidade, semestre ou ano letivo, segundo níveis de aproveitamento apresentados. O objetivo desse tipo de avaliação é classificar o aluno para determinar se ele será aprovado ou reprovado e está vinculada à noção de medir.

“... Medir significa determinar a quantidade, a extensão ou o grau de alguma coisa, tendo por base um sistema de unidades convencionais. Na nossa vida diária estamos constantemente usando unidades de medidas, unidades de tempo. O resultado de uma medida é expresso em números. Daí a sua objetividade e exatidão. A medida se refere sempre ao aspecto quantitativo do fenômeno a ser descrito...”, (HAYDT 2000, p. 9).

Segundo SANT’ANNA (2001), a avaliação formativa é realizada com o propósito de informar o professor e o aluno sobre o resultado da aprendizagem, durante o desenvolvimento das atividades escolares. Localiza a deficiência na organização do

ensino-aprendizagem, de modo a possibilitar reformulações no mesmo e assegurar o alcance dos objetivos. É chamada de avaliação formativa no sentido que indica como o aprendiz se modifica em direção aos objetivos.

“... A avaliação formativa tem como função informar o aluno e o professor sobre os resultados que estão sendo alcançados durante o desenvolvimento das atividades; melhorar o ensino e a aprendizagem; localizar, apontar, discriminar deficiências, insuficiências, no desenvolvimento do ensino-aprendizagem para eliminá-las; proporcionar feedback de ação (leitura, explicações, exercícios)...”, (SANT’ANNA, 2001, p. 34).

De acordo com LUCKESI (2002), a avaliação diagnóstica é estabelecida por uma pesquisa, projeção e retrospectiva da situação de desenvolvimento do aprendiz, apresentando-lhe elementos para verificar o que aprendeu e como aprendeu. É uma fase do processo de ensino cujo objetivo é verificar em que medida os conhecimentos anteriores ocorreram e, o que se faz necessário planejar para contornar as dificuldades encontradas.

Ainda segundo LUCKESI (2002), é a partir do resultado da avaliação diagnóstica que tutores e aprendizes devem reajustar seus planos de ação. Ressalta-se que esta avaliação deve ocorrer no início de cada ciclo de estudos, pois a variável tempo pode favorecer ou prejudicar as trajetórias subsequentes, caso não se faça uma reflexão constante, crítica e participativa. Nota-se que a função diagnóstica da avaliação leva a uma tomada de decisão posterior em favor do ensino.

SANTOS e VARELA (2007) afirmam que toda avaliação deveria ter uma dimensão diagnóstica, no sentido de que conduz, ou deveria conduzir, a uma melhoria do processo ensino-aprendizagem. Deveria tratar a adaptação melhor do conteúdo às formas de ensino com as características dos alunos revelados pela avaliação.

Ainda segundo SANTOS e VARELA (2007), sempre haverá a necessidade de avaliar, não importando a norma ou padrão base do modelo educacional. As autoras afirmam que não há como evitar a avaliação de conhecimentos, mas sustentam ser possível utilizá-la de forma mais eficaz naquilo a que se propõe: a melhora de todo o processo educativo. Porém, segundo LUCKESI (2002), a prática de aplicação dos instrumentos de avaliação tem se resumido a aplicação de provas e exames, uma vez

que são mais fáceis (em especial para o tutor) e costumeiras de serem executadas.

Observa-se que a prática da avaliação, atualmente, tem a função de classificar e não diagnosticar como deveria ser. Essas classificações são determinadas em números que somadas ou divididas ou tornam-se médias. A avaliação não serve como pausa para pensar a prática e retornar a ela, mas sim, como um meio de julgar a prática e torná-la estratificada. Nota-se que a avaliação classificatória não acrescenta em nada no avanço e no crescimento cognitivo, pelo contrário, muitas vezes desestimula e cria uma pressão desnecessária nos indivíduos avaliados.

“... A prática da avaliação escolar chega a um grau assustador de pressão sobre os alunos, levando a distúrbios físicos e emocionais: mal-estar, dor de cabeça, branco, medo, angústia, insônia, ansiedade, decepção, introjeção de autoimagem negativa. Uma escola que precisa recorrer à pressão da nota logo nas series iniciais, em certamente, uma triste escola e não está educando, é uma escola fracassada...”, (VASCONCELLOS, 1995, p. 37).

Faz-se importante ressaltar que, assim como indivíduos apresentam diferentes estilos de aprendizagem, conforme mencionado anteriormente na Seção 2.4, provavelmente respondem de forma diferente a um mesmo tipo de avaliação. Entretanto, na modalidade de ensino tradicional fica difícil, em especial para o tutor, dar atenção diferente a cada aprendiz, bem como aplicar avaliações de diferentes tipos a cada um deles.

De acordo com HAYDT (2000), é comum existirem alunos que retêm com mais facilidade o conteúdo e alunos que esquecem facilmente (o que reforça ainda mais a ideia de comportamentos cognitivos e estilos de aprendizagem distintos).

“... Não é apenas no início do período letivo que se realiza a avaliação diagnóstica. No início de cada unidade de ensino, é recomendável que o professor verifique quais as informações que seus alunos já têm sobre o assunto, e que habilidades apresentam para dominar o conteúdo. Isso facilita o desenvolvimento da unidade e ajuda a garantir a eficácia do processo ensino-aprendizagem...”, (HAYDT, 2000, p. 20).

HAYDT (2000) defende que a avaliação deve ser compreendida como um processo dinâmico de permanente interação³⁶ entre educador e educando no apontamento e no desenvolvimento de conteúdos de ensino-aprendizagem, na seleção e aplicação de suas metodologias, bem como no diagnóstico da realidade social. Visa à mudança comportamental do aprendiz e reforça seu compromisso com a sociedade.

2.6 MEDINDO A APRENDIZAGEM

Pode-se observar que processo de ensino-aprendizagem tem sido estudado em várias perspectivas, vários destes estudos apresentam verdadeira preocupação com a aquisição de conhecimento por parte do aprendiz.

A aprendizagem pode ser medida de diversas formas, dentre elas, por meio do que se denomina de curva de aprendizagem³⁷. O conceito foi descrito pela primeira vez pelo alemão Herman Ebbinghaus³⁸ em 1885, enfocando psicologia da aprendizagem, embora o nome não tenha sido utilizado até meados de 1909. Em 1936, Theodore Paul Wright³⁹ descreveu e formalizou o efeito de aprender sobre custos de produção na indústria aeronáutica. A curva de aprendizagem é uma representação do nível médio cognitivo de aprendizagem para uma determinada atividade ou ferramenta. Pode ser observado, através de tal ferramenta, que se um indivíduo é submetido à realização de uma determinada tarefa, repetidas vezes, o mesmo apresenta cada vez mais facilidade. Normalmente, o aumento na retenção de informações é mais agudo após as tentativas iniciais e gradualmente se equilibra, significando que cada vez menos informação nova é retida após cada repetição.

O conceito de curva de aprendizagem se expandiu, foi rediscutido e tratado

³⁶ Cooperação entre tutor e aprendiz é uma das características de aprendizagem cooperativa (assunto abordado no Capítulo 3).

³⁷ Utilizada também para averiguar o aprendizado de uma rede neural artificial, conforme apresentado mais adiante no Capítulo 4 e Capítulo 8.

³⁸ Hermann Ebbinghaus (1850 – 1909) foi o fundador da psicologia experimental de memória. Entre suas descobertas mais famosas são a curva de esquecimento, a curva de aprendizagem e o efeito de espaçamento. Ebbinghaus publicou seus resultados inovadores em uma monografia intitulada "Über das Gedächtnis" (1885), que mais tarde foi traduzido para o Inglês como "Memory: A Contribution to Experimental Psychology" (1913).

³⁹ Theodore Paul Wright (1895 – 1970) foi um engenheiro aeronáutico norte americano, tendo atuado também como educador.

posteriormente por diversos autores, com ajustes para situações variadas⁴⁰, com variáveis diferentes e enfoque em outras particularidades. Hoje em dia, a ideia geral é de que a curva de aprendizagem baseia-se na proposição de que, quanto maior a experiência em uma determinada área, menor o custo e o tempo para sua execução (LINTON e WALSH, 2004, YELLE, 1979).



Figura 26: Herman Ebbinghaus – psicólogo.



Figura 27: Theodore P. Wright – engenheiro.

Outra forma de medir a aprendizagem é através de avaliação de melhoria ou ganho. A avaliação de desempenho de aprendizagem pelo ganho tem sido utilizada em turmas de disciplinas introdutórias no ensino de graduação em Física, conforme descrito pelas observações empíricas de HAKE (1987, 1991, 1992, 2000, 2002).

Há duas abordagens de medir o ganho de conhecimento em um processo de ensino aprendizagem, sendo que, para ambos, é necessária a realização um pré-teste de conhecimento sobre o conteúdo a ser apresentado ao aprendiz e, depois da apresentação do conteúdo um pós-teste, ressaltando que os testes devem ser de igual teor, ou até mesmo idênticos.

A primeira abordagem é a do ganho absoluto e relaciona a diferença entre as notas final (pós-teste) e inicial (pré-teste) com a nota inicial (pré-teste), conforme ilustrado na Equação 2. A segunda abordagem emprega o ganho normalizado, representado na Equação 3. Nota-se que essa segunda abordagem procura dar homogeneidade ao ganho em relação à nota máxima, comparando a melhoria realizada à máxima melhoria possível.

⁴⁰ Conforme apresenta o Capítulo 6, a curva de aprendizagem pode ser utilizada também para avaliar fases de um jogo digital.

Na abordagem do ganho absoluto (Equação 2), os valores de ganhos são bem maiores, porém tal abordagem produz distorções de avaliação. Por exemplo, um estudante que começa com nota 2,0 (dois) e finaliza com nota 5,0 (cinco) terá um ganho absoluto de 150%. Outro estudante com nota inicial 6,0 (seis) e final 9,0 (nove) terá um ganho absoluto de 50% apenas. Seria impossível atingir 100% de ganho, mesmo com a nota máxima sendo igual a 10,0 (dez). Por meio deste exemplo, pode-se perceber que os estudantes que obtiveram notas iniciais maiores são penalizados em relação aos estudantes com notas iniciais menores.

$$\text{GanhoAbsoluto} = \frac{\text{NotaFinal} - \text{NotaInicial}}{\text{NotaInicial}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{GanhoNormalizado} = \frac{\text{NotaFinal} - \text{NotaInicial}}{\text{NotaMáxima} - \text{NotaInicial}} \times 100 \quad (3)$$

A abordagem do ganho normalizado (VISHNU, 2002), conforme observado na Equação 3, corrige a distorção do ganho absoluto, pois define 100% de ganho o valor entre a nota inicial (pré-teste) e a nota máxima da avaliação, representando de forma homogênea a avaliação da melhoria do estudante. Por esta razão, a abordagem do ganho normalizado foi adotada para o experimento descrito no Capítulo 9.

2.7 MOTIVAR APRENDIZES

Segundo PRENSKY (2012), o principal motivo pelo qual os aprendizes precisam ser motivados é devido ao fato de que aprender é trabalhoso. PAPERT (1998) afirma que:

“... Aprender é, por essência, difícil. O processo ocorre melhor quando se está engajado em atividades difíceis e desafiadoras...”, (PAPERT, 1998).

Ainda segundo PRENSKY (2012), no mundo real, a motivação para a aprendizagem costuma vir das necessidades reais dos indivíduos, tais como: sobreviver, ganhar dinheiro, continuando até a pirâmide hierárquica de Maslow⁴¹.

⁴¹ Abraham Maslow (1908-1970) foi um psicólogo estadunidense, referência em psicologia humanista, mais conhecido pela Teoria da Hierarquia das Necessidades Humanas ou a Pirâmide de Maslow.

Com o intuito de entender melhor a afirmação de Prensky, em meados de 1940, Abraham Maslow anuncia a sua teoria sobre motivação, baseando-se em suas observações como psicólogo, fundamentando a Teoria das Necessidades. MASLOW (1962) e BERGAMINI (2008) defendem que todas as teorias (históricas e contemporâneas) de motivação se unem na consideração das necessidades, impulsos e estados motivadores.

Segundo BERGAMINI (2008), o modelo de Maslow propõe a noção de necessidade como fonte de energia das motivações existente no interior das pessoas. MASLOW (1962) afirma que a necessidade é, em resumo, a privação de certas satisfações. Sua teoria propõe que os fatores de satisfação do ser humano dividem-se em cinco níveis dispostos em forma de pirâmide, como ilustrado na Figura 28.



Figura 28: Pirâmide da Teoria das Necessidades de Maslow.

Pode-se observar que base da pirâmide compreende as necessidades de nível baixo, que são as necessidades fisiológicas e de segurança; o topo da pirâmide é constituído pelas necessidades de nível alto, representantes da busca pela individualização do ser, são as necessidades sociais, de estima e de autorrealização.

Embora tenha estudado Direito no City College of New York (CCNY), interessou-se mais pela psicologia, curso no qual se graduou na Universidade de Wisconsin (onde também fez mestrado e doutorado).

ROBBINS (2002) explica cada um dos níveis de necessidade da seguinte forma:

- 1) Fisiológicas: incluem fome, sede, abrigo, sexo e outras necessidades corporais;
- 2) Segurança: inclui segurança e proteção contra danos físicos e emocionais;
- 3) Sociais: Incluem afeição, aceitação, amizade e sensação de pertencer a um grupo;
- 4) Estima: Inclui fatores internos de estima, como respeito próprio, realização e autonomia; e fatores externos de estima, como status, reconhecimento e atenção;
- 5) Autorrealização: a intenção de tornar-se tudo aquilo que a pessoa é capaz de ser; inclui crescimento, autodesenvolvimento e alcance do próprio potencial.

PRENSKY (2012) segue esse raciocínio, ressaltando que a autorrealização é o fator motivacional situado no nível mais alto da hierarquia de necessidades de Maslow. Segundo o autor, certamente as pessoas se autorrealizam com a aprendizagem, com a obtenção de títulos, com o início de novas carreiras ou com o aprimoramento para atender a alguma necessidade atual.

Por fim, PRENSKY (2012) cita a automotivação por meio do conteúdo, como uma das possíveis formas de motivação para a aprendizagem. Segundo o autor, atualmente fala-se bastante sobre aprendizes automotivados no mundo da educação, além de um novo paradigma: os indivíduos “devem assumir a responsabilidade pela própria aprendizagem”. Porém, observa-se que os indivíduos precisam de um fator extrínseco iniciar a aprendizagem de algo. Portanto, parte-se da necessidade para a aprendizagem de um conteúdo.

Vale ressaltar que a preocupação com esse assunto específico se dá pela necessidade da realização de experimentos envolvendo pessoas e, para garantir o sucesso dos experimentos, o sistema proposto no Capítulo 8 se preocupa com cada uma dessas necessidades apontadas acima.

2.8 ASPECTOS NEUROLÓGICOS DA COGNIÇÃO

Tido como o órgão responsável pelos pensamentos e movimentos produzidos pelo corpo, o cérebro permite que as pessoas entendam, interajam com seu meio ambiente, através da relação com outros objetos e da comunicação com os demais seres.

Há tempos a ciência procura desvendar a constituição e os mecanismos do funcionamento do cérebro, ocupando-se com a observação e descrição, dissecando, formulando e testando hipóteses e, cada vez mais vem descobrindo fatos e desenvolvendo novas teorias.

O funcionamento do cérebro passou a despertar o interesse de diversas áreas científicas, especialmente após a publicação dos estudos do neurologista espanhol Santiago Ramón y Cajal⁴² (CAJAL 1899 e 1904).



Figura 29: Santiago Ramón y Cajal

Em sua obra, LURIA⁴³ (1981) ressalta que cérebro é o mais requintado dos instrumentos, capaz de refletir as complexidades e os intrincados emaranhamentos do

⁴² Santiago Ramón y Cajal foi um médico e histologista espanhol. Considerado o “pai da neurociência moderna”, recebeu o Nobel de Fisiologia ou Medicina em 1906. Nasceu em 1852 em Petilla de Aragón e faleceu em Madrid em 1934 aos 82 anos.

⁴³ Alexander Romanovich Luria foi um famoso neuropsicólogo russo, especialista em psicologia do desenvolvimento. É tido como um dos fundadores de psicologia cultural-histórica que inclui o estudo das noções de causalidade e pensamento lógico-conceitual da atividade teórica como função do sistema nervoso central. . Nasceu em 1902, em Kazan, uma região central a leste de Moscou e faleceu em Moscou em 14 de agosto de 1977.

mundo. Centro da inteligência, memória, consciência e linguagem, o cérebro, em colaboração com outras partes do encéfalo, controla as sensações e os órgãos efetores, ele é o ponto mais alto da evolução, o único órgão consciente da sua própria existência.



Figura 30: Alexander Romanovich Luria.

Segundo LURIA (1981), os processos mentais são sistemas funcionais complexos. Tais sistemas não se encontram de forma isolada em áreas circunscritas do cérebro, mas funcionando por meio da participação de conjuntos de estruturas cerebrais operando em concerto (cooperando). Cada uma das estruturas apresenta sua própria contribuição particular para a organização desse sistema funcional.

Sob a perspectiva de BEAR *et al.* (2006), existem vários estudos envolvendo o cérebro humano buscam uma forma de pedagogia que não tenha como principal objetivo somente transmitir conteúdos intelectuais, mas descobrir processos capazes de suprir as dificuldades existentes às áreas do cérebro ligadas à aprendizagem. Busca-se no desenvolvimento da neurociência, incluir o conhecimento com um aprender mais abrangente, contínuo e dinâmico, compreensivo e instigante para quem ensina e para quem aprende.

“A revolução das Neurociências ocorreu quando os cientistas perceberam que a melhor abordagem para o entendimento da função do encéfalo vinha da interdisciplinaridade, a combinação das abordagens tradicionais para produzir uma nova síntese, uma nova perspectiva.”, (Bear et al., 2006, p. 03).

PENFIELD⁴⁴ (1959) foi o responsável pelo início da revolução na compreensão das áreas funcionais do cérebro, com suas observações durante procedimentos neurocirúrgicos para remoção de focos epilépticos, em pacientes cuja epilepsia não podia ser contida pelo uso de medicamentos.

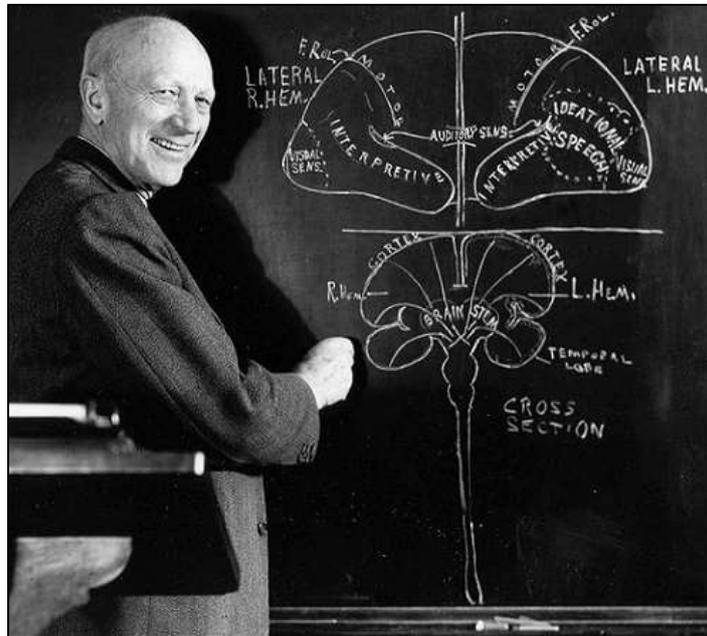


Figura 31: Wilder Penfield, neurocirurgião e professor.

Em meados de 1934, PENFIELD (1959) desenvolveu a cirurgia de epilepsia com anestesia local e, durante os procedimentos cirúrgicos com o paciente ainda consciente, aproveitava para estimular outras regiões do córtex, solicitando que o paciente descrevesse o estava sentindo. Com base nessas observações, longo dos anos, juntamente com seu grupo de colaboradores, realizou todo o mapeamento das regiões corticais localizadas à frente e atrás do sulco central do cérebro.

Na perspectiva de RAMACHANDRAN (2004), a partir da década de 1940, com os estudos detalhados realizados por PENFIELD (1959), surge uma representação motora e sensorial tátil do corpo, que se distribui ao longo das áreas centrais do córtex cerebral, denominado de “Homúnculo de Penfield” (homúnculo significa homem pequeno), uma representação distorcida do corpo, onde determinadas áreas recebem

⁴⁴ Wilder Graves Penfield foi um neurocirurgião canadense nascido em Spokane, Washington (fronteira Canadá-Estados Unidos) em 1891. É considerado um dos pais da neurociência moderna. Desenvolveu uma enorme atividade na área da neurocirurgia e estudos em neurociências na área da neurofisiologia, tendo-se debatido com o desafio de estruturar as bases científicas da mente humana. Faleceu aos 85 anos em 1976.

mais inervação (como é o caso da face e da mão em humanos) de acordo com a sua importância e necessidade de precisão de movimentos e sensações.

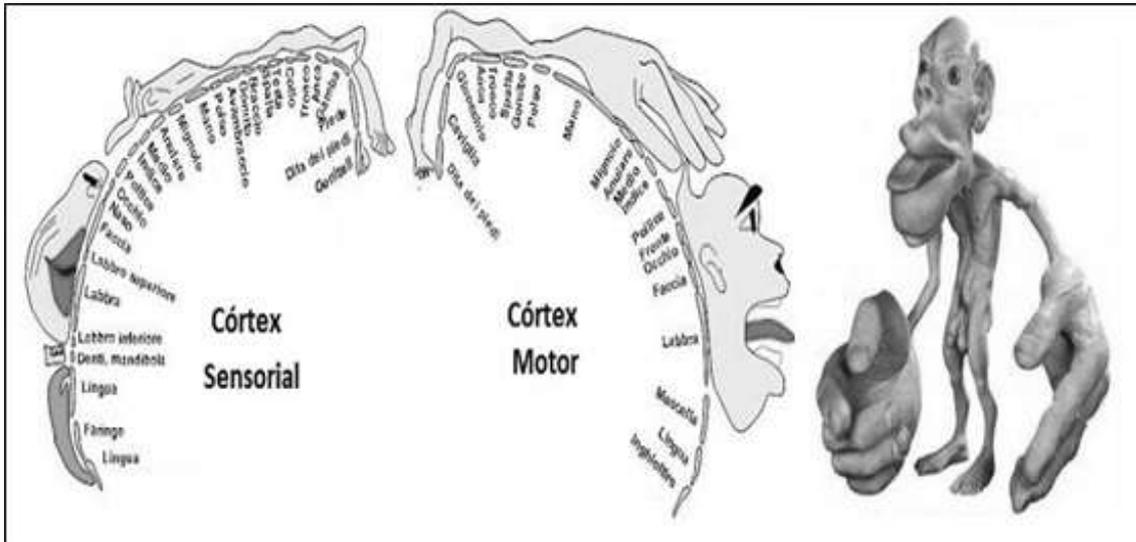


Figura 32: Representação do “Homúnculo de Penfield”.

Os estudos de PENFIELD (1959) mostraram a existência de áreas do cérebro com funções distintas.

Vale recordar que o objetivo do presente trabalho é apresentar uma abordagem inspirada no funcionamento cooperativo do conjunto de estruturas do cérebro, por meio de um modelo artificial, com o intuito de resolver problemas complexos. Portanto, o detalhamento anatômico do cérebro torna-se desnecessário. Imprescindível, porém, que sejam apresentados os aspectos funcionais do cérebro, bem como que se trate de sua influência na capacidade de cognição. Um estudo tal que inspira esforços, visando à cooperação entre redes neurais artificiais dotadas de estruturas e funções distintas, em um mesmo sistema, com um objetivo comum.

Segundo GILLEN (1998) e MACHADO (2006), o cérebro é dividido em áreas funcionais. Tais áreas são chamadas de áreas de projeção e áreas de associação. As áreas de projeção são as chamadas áreas primárias e relacionam-se diretamente com a sensibilidade ou com a motricidade. As áreas secundárias são áreas de associação, relacionam-se com alguma modalidade sensitiva ou de motricidade. As áreas terciárias são áreas relacionadas com atividades psíquicas superiores, como exemplos, memória, pensamento abstrato, comportamentos.

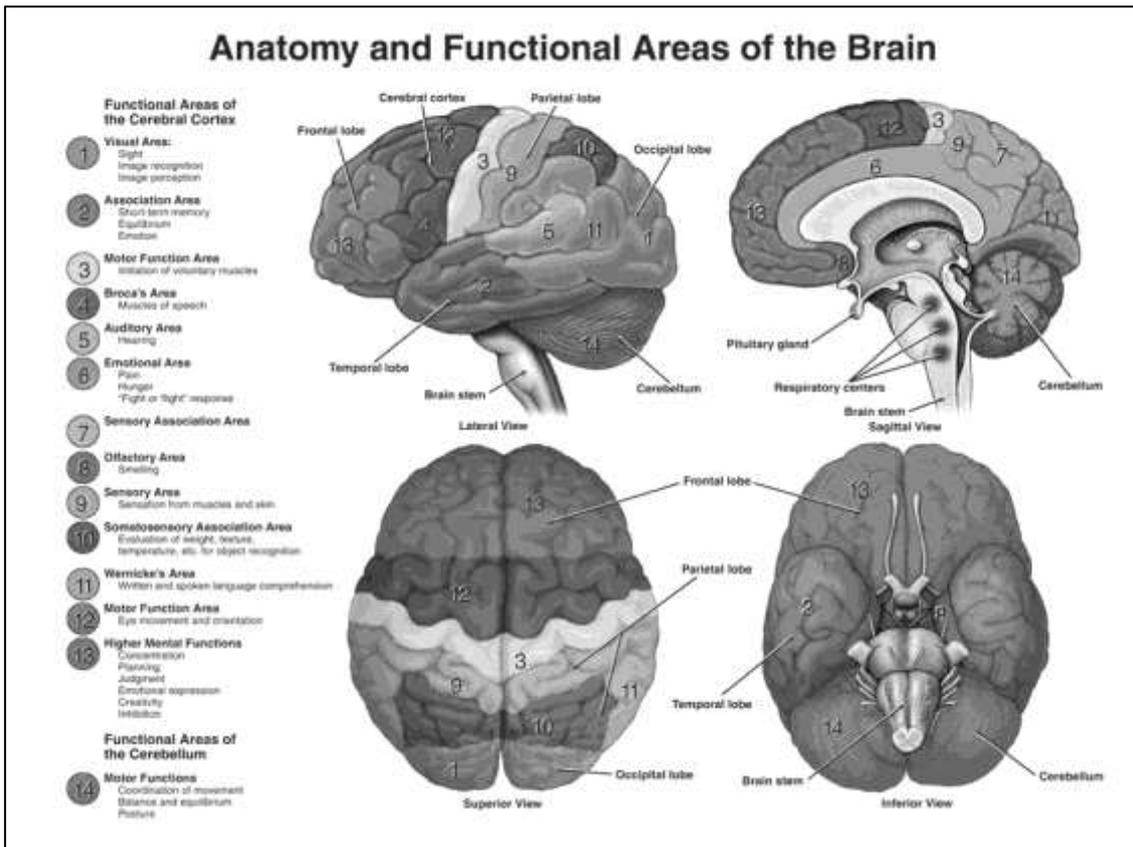


Figura 33: Modelo ilustrativo da anatomia e áreas funcionais do cérebro.

Fonte: *Health, medicine and anatomy reference pictures*, 2013.

Segundo MACHADO (2006), as áreas de projeção se dividem em subáreas conforme apresenta a Figura 34, a seguir:



Figura 34: Áreas de Projeção e suas subdivisões (MACHADO, 2006)

Segundo MACHADO (2006), as funções das áreas sensitivas primárias são:

- a. A Área Somestésica ou área da sensibilidade somática geral é responsável por receber radiações talâmicas que se originam no núcleo ventral pósterolateral e ventral pósteromedial do tálamo e trazem, por conseguinte, impulsos nervosos

relacionados à temperatura, dor, pressão, tato com propriocepção consciente da metade oposta do corpo.

- b. A Área Visual responsável pela recepção visual do campo visual.
- c. A Área Auditiva recebe “radiação” auditiva (que se origina no corpo geniculado medial).
- d. A Área Vestibular localiza-se próxima à área somestésica correspondente à face. Portanto, está mais relacionada com a área de projeção da sensibilidade proprioceptiva do que com a auditiva, informa sobre a posição e o movimento da cabeça.
- e. A Área Olfatória responsável por receber informações olfatórias.
- f. A Área Gustativa localiza-se em uma região adjacente à parte da área somestésica correspondente à língua e é responsável pela recepção de informações relativas ao paladar.

A Figura 35 apresenta as áreas funcionais do córtex sensitivo primário, como a somestésica, segundo PENFIELD (1959), e também as áreas funcionais identificadas no trabalho de MACHADO (2006), tais como: a área visual, área auditiva, área vestibular, área gustativa e área olfativa.

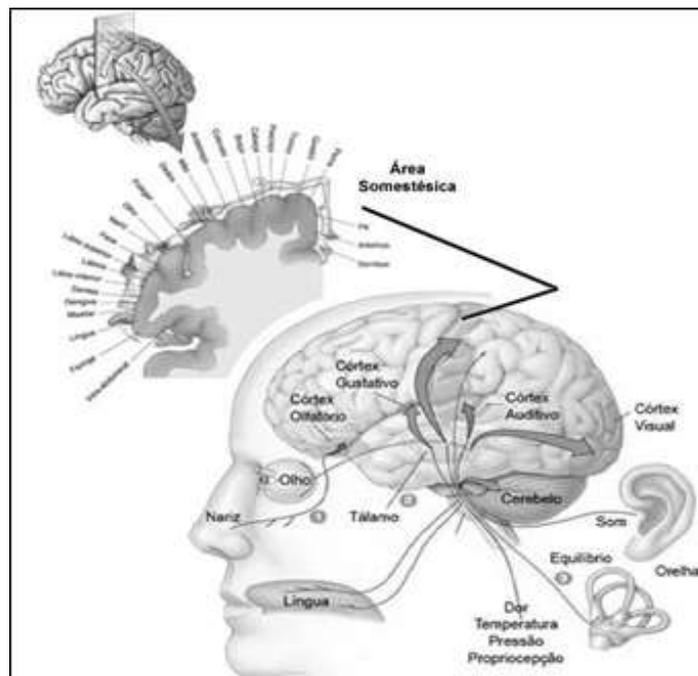


Figura 35: Áreas sensitivas primárias.

A Figura 36 a seguir mostra a área de projeção motora primária (córtex motor primário) conforme mapeado por PENFIELD (1959). Ocupa a parte posterior do giro pré-central. De forma semelhante ao “Homúnculo de Penfield” sensitivo a mão é representada desproporcionalmente, demonstrando que a extensão da representação cortical é proporcional à delicadeza dos movimentos realizados pelos grupos musculares envolvidos. As principais conexões aferentes da área motora são com o tálamo – através do qual recebe informações do cerebelo, com a área somestésica e com as áreas pré-motora e motora suplementar. Por sua vez, a área motora primária dá origem à maior parte das fibras dos tratos córtico-espinhal e córtico-nuclear, principais responsáveis pela motricidade (MACHADO, 2006).

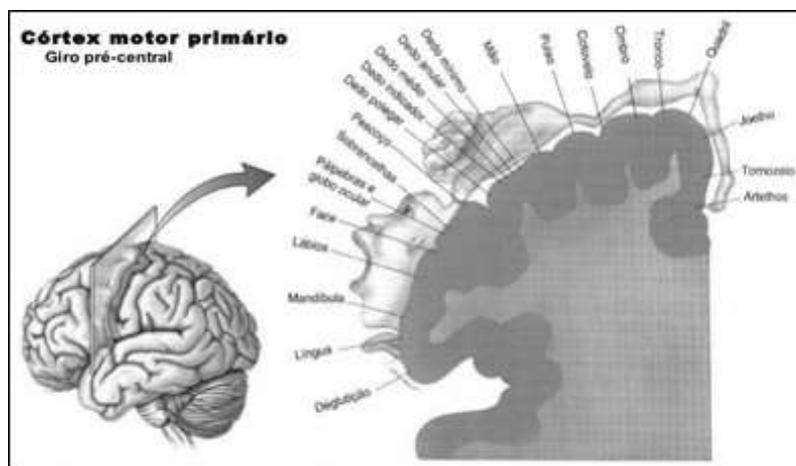


Figura 36: Área do córtex motor primário.

De acordo com MACHADO (2006), as áreas de associação primárias ainda se dividem em subáreas, conforme mostra a figura a seguir:

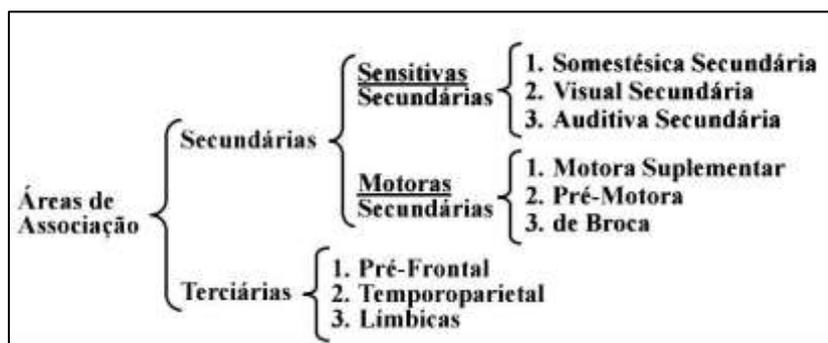


Figura 37: Áreas de Associação e suas subdivisões, segundo MACHADO (2006).

MACHADO (2006) explica que as áreas sensitivas secundárias (somestésica secundária, visual secundária e auditiva secundária) recebem informações vindas, principalmente, das áreas primárias correspondentes e repassam as informações

recebidas às outras áreas do córtex.

“Para que se possa entender melhor o significado funcional das áreas secundárias, cabe descrever os processos mentais envolvidos na identificação de um objeto. Essa identificação se faz em duas etapas: uma de sensação e outra de interpretação. Na etapa de sensação toma-se consciência das características sensoriais do objeto, sua forma, dureza, cor, tamanho etc. Na etapa de interpretação, ou gnosis, tais características sensoriais são 'comparadas' com o conceito do objeto existente na memória do indivíduo, o que permite sua identificação.”,
(Machado, 2006, p. 267).

As duas etapas citadas por MACHADO (2006) na identificação do objeto dependem de áreas corticais distintas. A etapa de sensação ocorre em uma área sensitiva de projeção (primária), já etapa de interpretação da sensação envolve processos psíquicos muito mais complexos, que dependem da integridade das áreas de associação sensitivas secundárias descritas e, em consequência disso, são às vezes denominadas áreas gnósicas. Ainda segundo o autor, esse fato pode ser demonstrado com o emprego de técnicas modernas de visualização do fluxo sanguíneo em áreas restritas do cérebro.

Conforme supramencionado, registros da atividade bioelétrica no córtex e dos padrões do fluxo sanguíneo no interior do cérebro, aferidos por técnicas como a eletroencefalografia, ressonância magnética funcional e outras, permitem, por exemplo, identificar o modo e a localização da ativação cerebral enquanto uma pessoa ouve e produz a linguagem, conforme apresenta a Figura 38, a seguir:



Figura 38: Imagens do cérebro humano, obtidas através de tomografia de emissão de pósitrons.

Seguindo com as subdivisões das áreas de associação secundárias, MACHADO (2006) afirma que as Áreas de Associação Secundárias Motoras. São adjacentes à área motora primária, relacionando-se com ela. Segundo o autor, lesões nessas áreas frequentemente causam apraxias, isto é, incapacidade de executar determinados atos voluntários e movimentos coordenados, sem que exista qualquer déficit motor (são áreas relacionadas com o planejamento do ato voluntário).

A área motora suplementar encontra-se na face medial do giro frontal superior. Essa área relaciona-se com a concepção ou planejamento de sequências complexas de movimentos e é ativada juntamente com a área motora primária quando esses movimentos são executados, porém, é ativada sozinha quando o indivíduo é solicitado a reproduzir mentalmente a sequência dos movimentos (MACHADO, 2006).

De acordo com MACHADO (2006), a área pré-motora localiza-se no lobo frontal na face lateral do hemisfério. Lesões nessa região fazem com que os músculos tenham sua força diminuída (musculatura axial e proximal dos membros). Projeta-se também para a área motora primária, recebendo impulsos do cerebelo (via tálamo) e de várias áreas de associação do córtex. Através da via córtico-retículo-espinal, que nela se origina, a área pré-motora coloca o corpo em uma postura básica preparatória para a realização de movimentos mais delicados, a cargo da musculatura mais distal dos membros.

A área de Broca, segundo MACHADO (2006), situa-se no giro frontal inferior, em frente à parte da área motora que controla os músculos relacionados com a vocalização, e é responsável pela programação da atividade motora relacionada com a expressão da linguagem.

Luria, apud (MACHADO, 2006, p.270), afirma que as áreas terciárias ocupam o topo da hierarquia funcional do córtex cerebral. Ainda segundo o autor elas são supramodais, isto é, não se relacionam isoladamente com nenhuma modalidade sensorial. São as áreas do cérebro responsáveis pela elaboração das diversas estratégias comportamentais e, além disso, recebem e integram as informações sensoriais já elaboradas por todas as áreas secundárias.

MACHADO (2006) explica que a Área Pré-Frontal compreende a parte anterior não-motora do lobo frontal. Ela recebe fibras de todas as demais áreas de associação do

córtex, ligando-se ainda ao sistema límbico. Tal região está envolvida nas seguintes funções: escolha das opções e estratégias comportamentais mais adequadas à situação física e social do indivíduo, assim como a capacidade de alterá-los quando tais situações se modificam; manutenção da atenção; controle do comportamento emocional.

De acordo com segundo MACHADO (2006), a Área Temporo-Parietal situa-se entre as áreas secundárias auditivas, visual e somestésica, funcionando como centro que integra informações recebidas dessas três áreas. É importante para a percepção espacial e esquema corporal.

As Áreas Límbicas estão relacionadas principalmente com a memória e o comportamento emocional (MACHADO, 2006).

Segundo LURIA (1966), a dinâmica do comportamento humano consiste na interconexão dessas diversas redes de informação dispersas pelo corpo: periféricas (pele, músculo, articulações, vísceras) e centrais (mielencefálicas, metencefálicas, mesencefálicas, diencefálicas e telencefálicas), que manifesta a existência de um sistema sensorial na base do desenvolvimento e da aprendizagem. Isto é, as sensações como puras informações integradas devem estimular e ativar, em um todo funcional as células nervosas iniciando o processo neurológico, que culmina nas respostas macro, micro, oro e grafomotoras. Em virtude do desenvolvimento evolutivo, o cérebro necessita organizar as sensações, para que possa receber informações referentes às condições do corpo, como universo intrassomático, bem como do envolvimento extrassomático, com os quais se produz uma motoricidade adaptativa e flexível. Trata-se de uma complexa integração e associação intraneurossensorial, que reflete a tendência evolutiva do processo informativo.

O processo de construção do conhecimento, segundo LURIA (1976) e VYGOTSKY (1998), supõe a integração das sensações, percepções e representações mentais. Sob essa perspectiva pode-se dizer que o cérebro é um sistema aberto que está em constante interação com o meio, e que transforma suas estruturas e mecanismos de funcionamento ao longo desse processo de interação.

De acordo com LURIA (1973), compete ao cérebro organizar a comunicação de milhares de dados, para que as respostas adaptativas integrem repertórios de conhecimento dos indivíduos.

As sensações, no processo de construção do conhecimento, devem integrar-se em esquemas de ação, o que demanda a participação da percepção e da estruturação das representações mentais. Dessa forma, o ser tem a capacidade de agir sobre o mundo, acomodar-se a ele, diferenciar-se qualitativamente, e não apenas captá-lo passivamente, LURIA (1980).

CAPÍTULO 3: APRENDIZAGEM COOPERATIVA

"A cooperação é a força unificadora mais positiva que agrupa uma variedade de indivíduos com interesses separados numa sociedade coletiva."

(Haratmann)

3.1 INTRODUÇÃO

Uma vez que o tema deste trabalho aborda a aprendizagem cooperativa, o estudo deste assunto é imprescindível à sua fundamentação teórica e ao seu desenvolvimento. Portanto, neste capítulo, são apresentados aspectos importantes do estudo realizado sobre o tópico.

É usual que as instituições de ensino estimulem os alunos à competição, de forma direta ou indireta. A competição, todavia, pode decepcionar alunos capazes, como pode, também, motivar mais aqueles que tiveram êxito. Mas não é essa a finalidade do processo de ensino-aprendizagem. As instituições (e alunos) deveriam se preocupar que todos tenham êxito, e por esta razão deve planificar estratégias que concretizem essa pretensão. E uma das estratégias mais eficazes observadas hoje em dia é, na verdade, a aprendizagem cooperativa.

A Seção 3.2 apresenta um levantamento das principais teorias da aprendizagem que fundamentam a estratégia cooperativa apresentada. A Seção 3.3 explica a diferença entre interação, colaboração e cooperação. A Seção 3.4 faz uma explanação geral sobre sucesso na cooperação e explana sobre a Teoria de Belbin. A Seção 3.5 registra a aprendizagem cooperativa. A Seção 3.6 diz respeito a aprendizagem cooperativa assistida por computador, mostrando o histórico, tecnologias, os recursos computacionais de cooperação e os tipos de interação por computador, sendo as vantagens desta modalidade explicadas na. A Seção 3.7 aponta as vantagens da aprendizagem cooperativa. A Seção 3.8 relata os problemas da cooperação por meio de dispositivos eletrônicos ou computacionais.

3.2 TEORIAS RELACIONADAS À APRENDIZAGEM COOPERATIVA

Denomina-se de Aprendizagem Cooperativa, o processo de aprendizagem que inclui a interação entre vários indivíduos em busca de uma meta comum: a aquisição de conhecimento (AGUADO, 2000).

À medida que descobertas sobre a aquisição de conhecimento ocorrem, percebe-se que o ensino e a aprendizagem fazem parte e definem um processo dinâmico de construção e interação. Nessa dinâmica, deve-se observar que um dos itens mais significativos para orientar a cooperação é, justamente, a teoria da aprendizagem que esse tipo de interação cooperativa utiliza como alicerce (BESSA, 2002).

As teorias de aprendizagem examinam a dinâmica que envolve o processo de ensino-aprendizagem, partindo do princípio da evolução cognitiva do ser humano, e tentam explicar a relação entre o conhecimento pré-existente e o conhecimento alcançado (BESSA, 2002).

Várias teorias contribuem para o entendimento da aprendizagem cooperativa, tendo em comum o fato de assumirem que aprendizes são agentes ativos na busca e construção de conhecimento, dentro de um contexto significativo. Além disso, as teorias de aprendizagem cooperativa ancoram-se nas seguintes características comuns:

- a. Aprendizagem mediada pelos autores e ações que se constroem nesses ambientes;
- b. Conhecimento compartilhado através da valorização do universo do conhecimento prévio, que os agentes (aprendizes e professores) trazem para a situação de aprendizagem;
- c. Autoridade compartilhada entre os agentes (aprendizes e professores);
- d. Valorização das diferenças globais e individuais⁴⁵.

No quadro a seguir, são apresentadas resumidamente algumas das principais teorias cujas características indicam ênfase na interação social de tipo cooperativo. Observa-se que algumas dessas teorias já foram introduzidas no Capítulo 2, mostrando a

⁴⁵ Etnia, cultura língua, gênero, classe social, estratégias, estilos e ritmos de aprendizagem, experiências pessoais, trajetórias sociais e profissionais.

coesão das ideias que embasam o presente trabalho.

Quadro 1: Teorias de aprendizagem com ênfase em interação social.

Teorias	Características
Epistemologia Genética de Piaget	Foca a estrutura cognitiva do sujeito. Diferentes níveis de desenvolvimento cognitivo. Desenvolvimento facilitado pela oferta de atividades e situações desafiadoras. Interação social e troca entre indivíduos funcionam como estímulo ao processo de aquisição de conhecimento.
Teoria Sócio-Interacionista de Vygotsky	Desenvolvimento cognitivo é limitado a um determinado potencial para cada intervalo de idade (Zona de Desenvolvimento Proximal). Desenvolvimento cognitivo completo requer interação social .
Teoria Construtivista de Bruner	Aprendiz é participante ativo no processo de aquisição de conhecimento. Instrução relacionada a contextos e experiências pessoais. Criação de comunidades de aprendizagem próximas da prática cooperativa do mundo real.
Teoria da Flexibilidade Cognitiva	Reestruturação espontânea do próprio conhecimento como resposta a demandas situacionais. Fontes de conhecimento interconectadas e compartimentadas.
Cognição Distribuída	Interação entre indivíduo, ambiente e artefatos culturais. Ensino recíproco. Importante papel da tecnologia.
Cognição Situada	Aprendizagem ocorre em função da atividade, contexto e cultura e ambiente social na qual está inserida. Interação social e cooperação são componentes críticos para aprendizagem (comunidade de prática).
Teoria da Cognição Compartilhada	Atenção especial ao ambiente de aprendizagem. Inclui o contexto físico e o contexto social. Profundamente relacionada com a teoria da cognição contextualizada. A colaboração é vista como um processo de construção e manutenção de um conceito compartilhado sobre um determinado problema.

Pela análise das sínteses das teorias relacionadas, percebe-se que a aprendizagem é vista não somente como inteligência e construção de conhecimento, mas também como identificação individual somada às relações interpessoais (fatores que se demonstraram essenciais no desenvolvimento do presente estudo).

3.3 DIFERENCIANDO INTERAÇÃO, COLABORAÇÃO E COOPERAÇÃO

Na literatura, é comum encontrar os termos interação, colaboração e cooperação sendo usados indistintamente. Portanto, torna-se necessário esclarecer e contextualizar os termos.

Segundo GROSZ (1996), interação é um tipo de relacionamento no qual existem trocas e influência mútua, mas não necessariamente há um objetivo compartilhado pelo grupo, não existe comprometimento com o sucesso do outro e não há uma negociação sobre um plano compartilhado.

Ainda segundo GROSZ (1996), colaboração é uma maneira de trabalhar em grupo. Nesse caso, os membros do grupo atuam em conjunto visando o sucesso do projeto, sendo que a falha de um dos participantes normalmente resulta na falha do grupo como um todo.

Na cooperação, os membros do grupo, cada qual com suas especialidades e habilidades individuais, executam tarefas individualmente e depois combinam os resultados parciais para obter o resultado final (DILLENGOURG, 1999). Da mesma forma como ocorre na colaboração, a falha de um participante pode implicar na falha do grupo, comprometendo o objetivo.

No presente trabalho, além de aplicar a cooperação na aprendizagem, houve a intenção de promover cooperação entre componentes inteligentes, conforme demonstrado no Capítulo 7.

3.4 SUCESSO NA COOPERAÇÃO E A TEORIA DE BELBIN

A organização de atividades em estruturas baseadas em equipes é uma realidade do mundo moderno, seja no trabalho, em pesquisas e até no lazer. No trabalho, movidas pela competitividade da economia globalizada e pela crescente necessidade de aumento de produtividade, as organizações estão buscando cada vez mais investir em equipes como parte da sua estrutura. Em pesquisas, geralmente um pesquisador é orientado a se aprofundar em uma especialidade e as instituições que mantêm tais pesquisas acabam por necessitar de montar equipes de pesquisadores cada qual com sua especialidade. Procurar entender os principais elementos que afetam o desempenho das equipes é, portanto, de vital importância para o sucesso de qualquer tipo de cooperação.

A teoria de papéis de BELBIN⁴⁶ (1981) aponta que indivíduos tendem a desempenhar papéis de equipe, além dos papéis técnicos funcionais inerentes à atividade a ser desenvolvida. Em seu modelo original, BELBIN (1981) descreve oito papéis, baseando-se em experimentos em que pessoas foram submetidas a uma bateria de testes psicotécnicos e, posteriormente, colocadas para trabalhar em equipes, enquanto, também, se dedicavam a exercícios de gerenciamento. Traços de

⁴⁶ Dr. Raymond Meredith Belbin é um professor e pesquisador britânico, nascido em 1926. Considerado internacionalmente como o “pai das equipes” (KEEN, 2003).

personalidade, modos de interação, preferências intelectuais e estilos de comportamento foram observados e avaliados durante os exercícios.

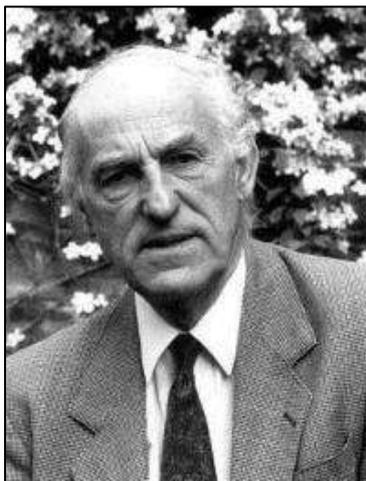


Figura 39: Dr. Raymond Meredith Belbin – professor e pesquisador.

BELBIN (1981) definiu “*team role*” como a tendência de se comportar, contribuir ou se relacionar com os outros indivíduos de uma determinada maneira. O termo “*team role*” indica que, apesar de certas personalidades terem maior tendência para desempenhar certos papéis, cada pessoa pode, durante diferentes épocas (ou influenciada pelos papéis de outros membros da equipe), atuar em um ou mais papéis.

Entretanto, com o passar do tempo, diferentes grupos de comportamento foram identificados e consistentemente relacionados ao sucesso ou insucesso das equipes. Belbin e sua equipe mapearam então um total de nove funções básicas que são desempenhadas por diferentes personalidades em equipes de sucesso. Baseado nas referidas funções, desenvolveu também testes psicotécnicos, cujo objetivo é a seleção de membros para a equipe ideal, definida por ele como a equipe cujos membros têm um equilíbrio de preferências individuais que permitem a otimização dos resultados da equipe (BELBIN 1993).

Segundo os estudos de BELBIN (1981, 1993 e 2000), as equipes devem ser estruturadas levando-se em conta os perfis ou tendências pessoais e a personalidade dos indivíduos⁴⁷. O autor afirma que em uma equipe ideal, os membros assumem naturalmente funções ou papéis complementares, e cada um destes papéis pode ser descrito em termos de pontos fortes e fraquezas de cada perfil que o desenvolve,

⁴⁷ Fator importante de personalização do jogo cooperativo proposto no Capítulo 8.

conforme ilustra o Quadro 2.

Quadro 2: Papéis de Time, Descritores, Pontos Fortes e Possíveis Fraquezas.

Papel	Sigla	Descritores	Pontos fortes	Possíveis fraquezas
Completer Finisher	CF	Ansioso, consciencioso, introvertido, tem autocontrole, tem autodisciplina, submisso e preocupado.	Meticuloso, consciencioso, procura por erros e omissões, entrega sem atraso.	Tendência a se preocupar demais. Relutante a delegar.
Implementer	IMP	Conservador, controlado, disciplinado, eficiente, inflexível, metódico, sincero, estável e sistemático.	Disciplinado, confiável, conservador e eficiente, transforma ideias em ações práticas.	Um tanto inflexível. Lento para responder a novas possibilidades.
Team Worker	TW	Extrovertido, amigável, leal, estável, submisso, confortante, não assertivo e não competitivo.	Cooperativo, suave, boa percepção e diplomático, escuta, constrói, evita atritos, acalma o clima.	Indeciso em situações de conflito.
Specialist	SP	Especialista, defensivo, não interessado nos outros, sério, tem autodisciplina, eficiente.	Focado, dedicado, auto motivado, provê conhecimento e habilidades raros.	Contribui somente em um único tópico. Alonga-se em tecnicidades.
Monitor Evaluator	ME	Seguro, fidedigno, justo, introvertido, de avanço lento, aberto a mudanças, sério, estável e sem ambições.	Sóbrio, estratégico e perspicaz, visualiza todas as opções, julga com precisão.	Não tem impulso e habilidade para inspirar outras pessoas.
Coordinator	CO	Dominante, confia nos demais, extrovertido, maduro, positivo, tem autocontrole, tem autodisciplina, estável.	Maduro, confiante, bom diretor, esclarece objetivos, promove a tomada de decisão, delega bem.	Pode ser visto como manipulador. Sobrecarregado com trabalho.
Plant	PL	Dominante, imaginativo, introvertido, original, pensamento radical, cheio de confiança, não se inibe.	Criativo, não ortodoxo, soluciona problemas difíceis.	Muito absorto em pensamentos; dificuldade para se comunicar efetivamente.
Sharper	SH	Abrasivo, ansioso, arrogante, competitivo, dominante, irritável, emocional, extrovertido, impaciente, impulsivo, autoconfiante.	Desafiador, dinâmico, prospera sob pressão, tem impulso e coragem para vencer obstáculos.	Suscetível a provocações. Ofende o sentimento das pessoas
Resource Investigator	RI	Diplomático, dominante, entusiasta, extrovertido, flexível, inquisitivo, otimista, persuasivo, positivo, descontraído, social e estável.	Extrovertido, comunicativo, explora oportunidades, desenvolve contatos.	Excessivamente otimista. Perde interesse depois do entusiasmo inicial.

Fonte: BELBIN(1993), pg. 22.

Segundo alguns estudiosos, a razão do insucesso das equipes reside no processo

seletivo inadequado. BELBIN (1993) afirma que a pior maneira para a seleção de membros de uma equipe é por disponibilidade, pois frequentemente os candidatos disponíveis não são necessariamente os melhores para fazer parte de determinada equipe e, alguns casos, podem até mesmo prejudicar o seu andamento. Outra forma de seleção é escolher os que têm demonstrado tendência para o trabalho em equipe. Ainda que esta seja, comparativamente melhor que a primeira, a(s) dinâmica(s) do(s) grupo(s) anterior(es) pode(m) haver facilitado o desempenho de um determinado perfil individual, ou seja, o bom desempenho passado em equipes não é garantia de bom desempenho no futuro, uma vez que uma nova equipe terá novas personalidades, novos desafios e necessidades.

Em concordância com BELBIN (1993), KATZENBACH e SMITH (2001) e MOSCOVICI (1998) também afirmam que para ocorrer sinergia⁴⁸ na equipe há a necessidade da existência de habilidades e competências complementares e que são essas características que possibilitam a maximização dos resultados individuais. Pela independência, resultado final não é a simples soma do trabalho de cada um dos membros do grupo, mas a soma do trabalho otimizado pela competência individual e interação com os outros membros. Belbin, entretanto, foi o primeiro estudioso de equipes a apontar a necessidade desse tipo de seleção, não necessariamente baseada em habilidades técnicas, mas principalmente em habilidades pessoais que sejam complementares. LALANE (1997) e KEEN (2003) apontam esse tipo de seleção como fator determinante ao sucesso das equipes.

É possível verificar, observando-se a Figura 40, que os indivíduos não possuem apenas uma das características apontadas pela ferramenta desenvolvida por Belbin, isto é, não serve para definir exatamente o perfil do indivíduo como um classificador, mas para apontar quais as características acentuadas do indivíduo. Vale lembrar que essas características podem mudar de acordo com as experiências do indivíduo no decorrer do tempo.

A ferramenta de seleção proposta por Belbin é apresentada no Apêndice 3 do presente trabalho.

⁴⁸ Sinergia ou sinergismo se caracteriza por uma ação conjunta (cooperação) de coisas, pessoas, organismos ou organizações, com vista de obter um resultado superior ao obtido isoladamente por uma das partes.

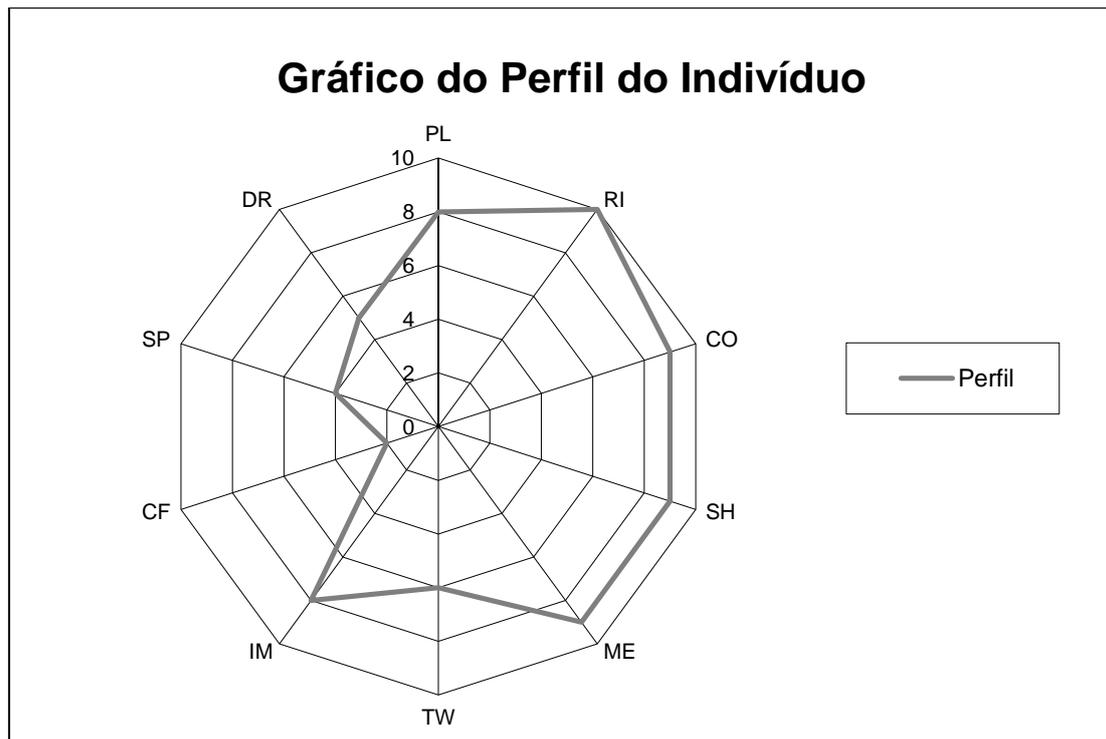


Figura 40: Exemplo de gráfico resultante do Teste de Belbin (BELBIN, 1993).

A importância desse tópico pode ser conferida no experimento apresentado no Capítulo 9.

3.5 COOPERAÇÃO NA APRENDIZAGEM

Conforme observado anteriormente no Capítulo 02, a teoria de Vygotsky apresenta a interação social, ou seja, a relação de comunicação entre indivíduos ou grupos, como forma de construção de conhecimento. Por essa interação, tendo-se a aquisição de conhecimentos como uma meta em comum, os indivíduos tendem a operar de forma simultânea, com o intuito de alcançar tal objetivo. A cooperação pode ser voluntária (sendo o caso mais comum) ou involuntária⁴⁹ dependendo da situação observada, uma vez que essa atividade prevê, entre aqueles que se propõem a realizá-la, o acordo e regras implícitas acerca dos objetivos a serem alcançados (VYGOTSKY 1998).

⁴⁹ Como exemplo de cooperação involuntária na busca de um conhecimento em comum pode-se citar um jogo de mímica onde duas equipes disputam e, ganha quem responder primeiro e corretamente. Como os indivíduos de ambos os grupos estarão falando simultaneamente, eles estarão trocando pistas entre eles para a solução do problema, ou seja, estarão cooperando, mas com o propósito de haver apenas um grupo vencedor.

A aquisição de conhecimentos como resultado de interação entre indivíduos com habilidades distintas é denominada de aprendizagem cooperativa. Tal perspectiva certamente implica que assuntos de interesse comum podem ser abordados, debatidos e compartilhados. Aplicar técnicas de aprendizagem cooperativa na educação formal é essencial não só para a obtenção de melhor desempenho em relação a processos de ensino e de aprendizagem convencionais, mas também na preparação dos indivíduos para situações futuras no ambiente de trabalho, uma vez que o mundo exige, cada vez mais, pessoas que estejam aptas ao trabalho em equipe (HARTLEY, 1996).

Em uma abordagem de aprendizagem cooperativa, COLLIS (1993) parte dos seguintes pressupostos: ninguém é uma ilha; não há projeto tão simples, realizável por uma só pessoa; aprender com os outros, reformulando o conhecimento a partir da crítica do outro, é essencial para o fortalecimento das habilidades de comunicação e raciocínio.

3.6 APRENDIZAGEM COOPERATIVA SUPORTADA POR COMPUTADOR

Após o surgimento do computador, tornou-se inevitável que ocorresse a união deste aos métodos de ensino-aprendizagem atuais. Com o advento das redes de computadores e recursos multimídia, surgiu na aprendizagem baseada em computador uma nova modalidade de ensino-aprendizagem: a Aprendizagem Cooperativa Suportada por Computador (CABRAL, 2001).

A Aprendizagem Cooperativa Suportada por Computador é uma área de estudos que trata da forma pela qual a tecnologia pode apoiar os processos de aprendizagem colaborativos, entre estudantes trabalhando em uma dada tarefa. No entanto, em tal modalidade, pouca atenção tem sido dada à afetividade e à motivação do aprendiz no processo de interação. Curiosamente, cada vez mais os ambientes computacionais têm reproduzido o modelo competitivo da sala de aula tradicional (CAÑAS, 1992).

3.6.1 BREVE HISTÓRICO

O ensino cooperativo com o uso de tecnologias computacionais é visto como algo relativamente recente. Não obstante os computadores tenham sido considerados como instrumentos populares (conforme mencionado anteriormente no Capítulo 2 do presente

trabalho), a indústria de *software*⁵⁰ visava mais o suporte ao trabalho individual e não tanto o coletivo. Alguns exemplos desse fato são os processadores de texto, editores gráficos e planilhas eletrônicas. Inclusive a área voltada aos estudos de interfaces homem-máquina vinha dedicando-se a explorar mais a interação de um só indivíduo com a máquina (MEIRELLES, 1994).

Por volta de 1970, devido à crescente preocupação em aumentar a produtividade das organizações (ambientes onde a maior parte do trabalho é desenvolvida por equipes), surgiu uma área de pesquisa chamada Automação de Escritório (OA - "Office Automation"). O objetivo era buscar uma forma de integrar e transformar aplicações monousuário como processadores de texto e planilhas eletrônicas, em ferramentas apropriadas ao trabalho em grupo, permitindo o acesso simultâneo por vários usuários (GRUDIN, 1994).

Somente após algum tempo reconheceu-se a necessidade de realizar mais estudos sobre o comportamento dos grupos ao desempenhar uma determinada atividade, com o objetivo de gerar sistemas de suporte mais apropriados à atividade de cooperação. Tais estudos envolveram técnicos em computação trabalhando em conjunto com profissionais de outras áreas, como por exemplo, sociólogos, psicólogos, antropólogos e educadores, tendo seus resultados servindo de motivação para o desenvolvimento de ferramentas voltadas para a automação de escritórios (SILVERMAN, 1995).

O termo Automação de Escritório foi, gradativamente, substituído pela sigla CSCW⁵¹ (*Computer Supported Cooperative Work*), cuja tradução para o português é Trabalho Cooperativo Suportado por Computador⁵² (ELLIS, 1991). A sigla CSCW foi apresentada publicamente em 1986, como título de uma conferência. Observa-se que a maioria dos trabalhos científicos nesta área surgiu a partir desta primeira conferência. Outras conferências sobre o tema CSCW foram realizadas em 1988, sendo logo seguida, em 1989, pela primeira conferência europeia.

⁵⁰ Programa para computador, representado por um conjunto de instruções lógicas.

⁵¹ O termo CSCW foi introduzido por Grief e Cashman, *apud* ORTEGA (1998) como "uma forma de descrever como a tecnologia dos computadores pode ajudar os usuários a trabalharem em grupos". CSCW é a "disciplina científica que descreve como desenvolver aplicações *groupware*, tendo também por objetivo o estudo teórico e prático de como as pessoas trabalham em cooperação e como o *groupware* afeta o comportamento do grupo".

⁵² Também citada frequentemente na literatura como Suporte por Computador ao Trabalho Cooperativo.

Com o intuito de proporcionar um ambiente cooperativo centrado na aprendizagem, surgiu a área de pesquisa denominada Aprendizagem Cooperativa Assistida⁵³ por Computador (CSCL - Computer Supported Collaborative Learning) (SILVERMAN, 1995).

A CSCL, que é considerada por alguns autores como uma subdivisão da área denominada Trabalho Cooperativo Suportado por Computador (CSCW), teve como marco de criação o workshop *Special Program on Advanced Educational Technology*, coordenado pelo Programa Especial em Tecnologia Educacional Avançada, ocorrido no ano de 1989 em Acquafredda di Maratea, Itália.

A aprendizagem cooperativa através dos computadores tornou-se possível com o avanço da tecnologia de redes de computadores e com o surgimento da Comunicação Mediada por Computador (CMC), conforme RECUERO (2009). Tais avanços introduziram no Ensino à Distância, métodos mais rápidos e eficientes de interação entre as pessoas. Novas possibilidades têm sido introduzidas na área de CSCL devido ao advento da rede Internet e à consolidação desta como um importante meio de comunicação.

Ainda segundo RECUERO (2009), a possibilidade de interações e conversações, observada em meados de 1990, deu fôlego à perspectiva de estudo de redes sociais⁵⁴. Tal estudo analisa como as estruturas sociais surgem, qual o tipo dessas estruturas, como são compostas através da comunicação mediada pelo computador e como essas interações mediadas são capazes de gerar fluxos de informações e trocas sociais que impactam tais estruturas (processo de ensino-aprendizagem).

A primeira fase da internet, após a sua popularização foi chamada de *web 1.0* e, nessa fase, foi explorado recurso de criação de páginas e interligação entre elas. Em uma segunda e recente fase, surgida em meados de 2004, chamada de *web 2.0*, trouxe um uso inovador para as tecnologias já existentes, porém, disponibilizando recursos

⁵³ A palavra “assistida” pode ser entendida também como “ajudada”, “assessorada”, “suportada” ou “auxiliada”.

⁵⁴ Uma rede social é definida como um conjunto de dois elementos: atores (pessoas, instituições ou grupos; os nós da rede) e suas conexões (interações ou laços sociais) citado por Wasserman e Faust, 1994; Degenne e Forse, apud (RECUERO, 2009). Uma rede, assim, é uma metáfora para observar os padrões de conexão de um grupo social, a partir das conexões estabelecidas entre os diversos atores. A abordagem de rede tem, assim, seu foco na estrutura social, onde não é possível isolar os atores sociais e nem suas conexões.

mais interativos e de cooperação entre os usuários. Nesse novo conceito, os usuários criam seus próprios conteúdos e se organizam, formal ou informalmente, para desenvolver páginas dinâmicas. Aqueles que, no passado eram apenas usuários da internet, passaram a desempenhar um papel de elaboradores de conteúdo. Estes colaboram com outros usuários na construção e edição de conteúdos, formando uma ampla rede de inteligência coletiva, segundo BOHN (2010).

Ainda segundo BOHN (2010), as ferramentas da *web 2.0* possuem características que permitem a interação social, favorecendo a construção do conhecimento de forma colaborativa ou cooperativa, alcançando grande importância na educação. Algumas características da *web 2.0* foram observadas e consideradas para o projeto.

3.6.2 TECNOLOGIAS UTILIZADAS

A tecnologia de banda larga e tem se tornado acessível e, com ela, a internet tem crescido em todos os aspectos nos últimos anos, tanto na quantidade de usuários, quanto em importância para a comunicação. Com o advento e evolução dos aparelhos (computadores, *netbooks*, *tablets*, *smartphones*, *smartTV's*, consoles de *videogames*, entre outros), estar “conectado” deixou de servir ao mero entretenimento, tornando-se parte da rotina diária de milhões de pessoas em todo o mundo.

Um grande interesse tem sido despertado para o desenvolvimento de ferramentas que apoiem o uso educacional cooperativo. Apresentam-se, a seguir, alguns destes ambientes e os tipos de comunicação que eles disponibilizam.

3.6.3 RECURSOS DIGITAIS DE COOPERAÇÃO

Segundo RECUERO (2009), as estruturas sociais são formadas através de um processo de cooperação.

“... A cooperação pode ser gerada pelos interesses individuais, pelo capital social envolvido e pelas finalidades do grupo. Entretanto, é essencial para a compreensão das ações coletivas dos atores que compõem a rede social...”, (RECUERO, 2009).

Ainda de acordo com RECUERO (2009), as interações sociais podem surgir da influência mútua entre os envolvidos e, em razão de tais interações, relações de cooperação tendem a aparecer, por exemplo, na formação de grupos na Internet.

Weblogs coletivos são produzidos por um grupo de pessoas. Eles dependem da cooperação entre todos os envolvidos para que continuem a existir, já que é preciso atualizar, ler comentários e, sobretudo, dividir as informações. Também existem fotologs coletivos (ou redes sociais baseada em exposição de fotos), que se encaixam no mesmo exemplo.

O modelo de aprendizagem para a CSCL baseia-se na criação de ambientes virtuais cooperativos. Estes ambientes têm atraído diversos estudantes devido ao seu potencial social, a possibilidade de troca de conhecimentos e a interação com especialistas. Trabalhar em times colaborativos permite aos estudantes combinar conhecimentos complementares e estilos de aprendizagem, assim como o desenvolvimento psicossocial e as habilidades de comunicação. A aprendizagem distribuída⁵⁵ quando comparada ao sistema presencial, possui vantagens, uma vez que não possui limitações de tempo⁵⁶ nem de lugar.

A Internet permite o uso de um grande número de serviços que dão suporte à interação e à cooperação. Os serviços mais utilizados são:

- a. Páginas WWW (*World Wide Web*) – inclusive em formato de fórum, redes sociais, enciclopédias colaborativas, web chats, entre outros;
- b. Programas messengers;
- c. Newsgroups, e-mail;
- d. FTP (*File Transfer Protocol*);
- e. Sistemas de áudio/videoconferência;
- f. IRC (*Internet Relay Chat*, protocolo que se tornou muito popular especialmente no início da disseminação da internet);
- g. Jogos online.

Ainda que seja dada uma atenção especial ao serviço WWW, que possibilita exposição de material hipermídia⁵⁷ e interativo, além de integrar quase todos os serviços

⁵⁵ Processo de aprendizagem à distância, utilizando recursos de comunicação através do computador. Ocorre sem a presença do tutor humano.

⁵⁶ Dependendo do tipo de comunicação utilizada.

⁵⁷ Os termos Multimídia e Hipermídia são constantemente usados como sinônimos, embora existam algumas diferenças entre os dois. Multimídia se refere à interconexão entre duas ou mais mídias

disponíveis para a Internet, com o crescimento das denominadas “tecnologias móveis” (smartphones, tablets e outros), têm surgido muitos aplicativos (também chamados de app’s). Tais aplicativos podem promover interação social ou permitem o compartilhamento dos resultados de suas tarefas específicas em redes sociais.

3.6.4 TIPOS DE INTERAÇÃO ATRAVÉS DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS

É possível diferenciar a interação social através do uso de programas e redes de dispositivos eletrônicos (computadores, tablets, consoles de videogames, smartphones, entre outros) pelo menos por dois aspectos:

- a. Quanto à temporalidade:
 - a.1 - Síncrona;
 - a.2 - Assíncrona.
- b. Quanto ao direcionamento e número de interlocutores:
 - b.1 - “um-para-um”;
 - b.2 - “um-para-todos”;
 - b.3 - “alguns-para-alguns”;
 - b.4 - “todos-para-todos”.

Nas figuras apresentadas, logo a seguir, a interação é representada pelas setas de duplo sentido (\longleftrightarrow ou \leftrightarrow). As nuvens⁵⁸, apresentadas nas figuras a seguir, significam a independência do meio de comunicação entre os dispositivos eletrônicos.

A interação síncrona (Figura 41) ocorre em tempo real, isto é, os interlocutores (usuários: A1, A2, B1 e B2) encontram-se ligados simultaneamente em rede e utilizam recursos que permitem aos envolvidos acompanharem o que o(s) outro(s) deseja(m) comunicar. Podemos citar como exemplo deste tipo de interação, os recursos de bate-papo e áudio/videoconferência.

(meios de informação). Estas mídias podem incluir textos, imagens, áudio, vídeo e animações. Hiper-mídia é a extensão do paradigma do hipertexto, com a inclusão de outras mídias. Como exemplo de hipertexto, podemos citar um conjunto de páginas “web” interconectadas.

⁵⁸ Este símbolo é geralmente muito utilizado em projetos lógicos de redes de comunicação.

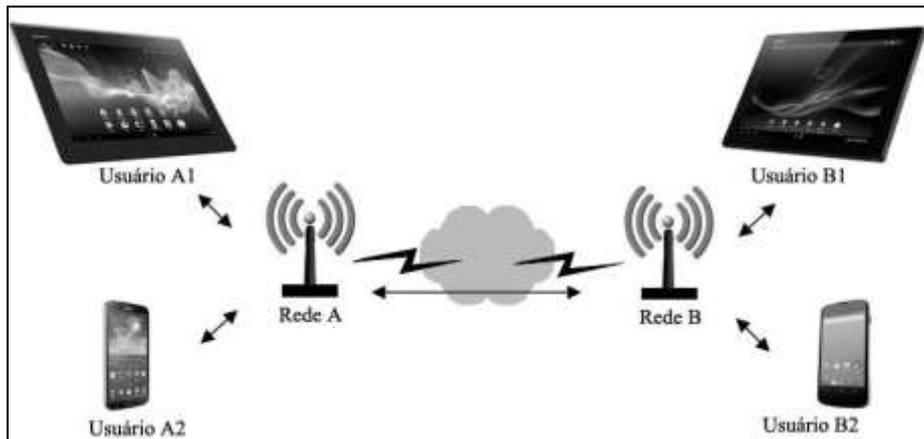


Figura 41: Comunicação Síncrona

Já na interação assíncrona, aqui representada por uma seta de duplo sentido pontilhada (Figura 42), os interlocutores se comunicam sem estabelecerem ligação direta. A interação não necessariamente precisa ser intermediada por recursos que permitem aos interlocutores acompanharem o que o(s) outro(s) deseja(m) comunicar no momento exato em que a comunicação é emitida, podendo os usuários estar ligados em rede simultaneamente ou não. Exemplo: e-mail (correio eletrônico).

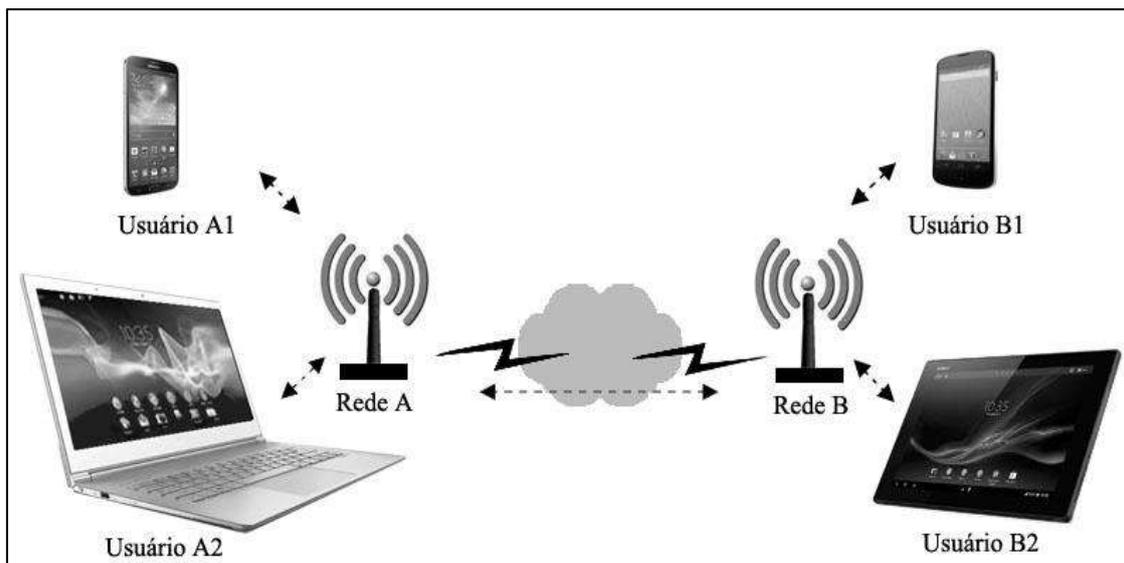


Figura 42: Interação Assíncrona

Quanto ao direcionamento e número de interlocutores, a comunicação que ocorre apenas entre dois indivíduos é denominada de interação “um-para-um” (Figura 43), este tipo de comunicação pode ser de forma síncrona ou assíncrona (exemplo: SMS).

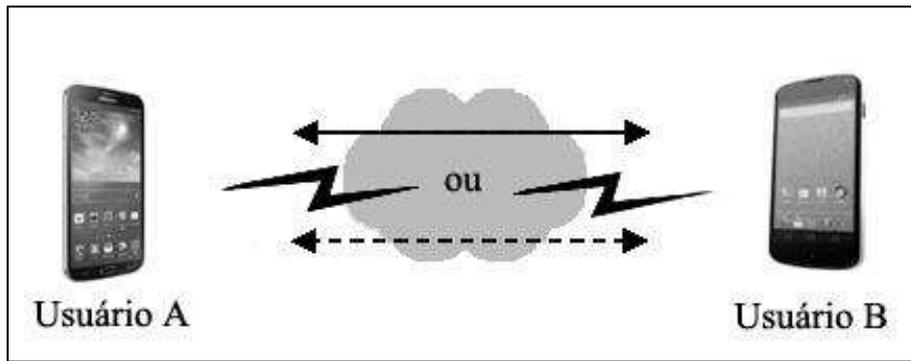


Figura 43: Interação "um-para-um"

Na interação “um-para-todos” (Figura 44), também conhecida como *broadcast*, um usuário do grupo se comunica com vários outros, emitindo sua comunicação para vários receptores os quais podem também se tornar emissores, comunicando-se com quem emitiu a comunicação. Esta comunicação pode ser síncrona ou assíncrona.

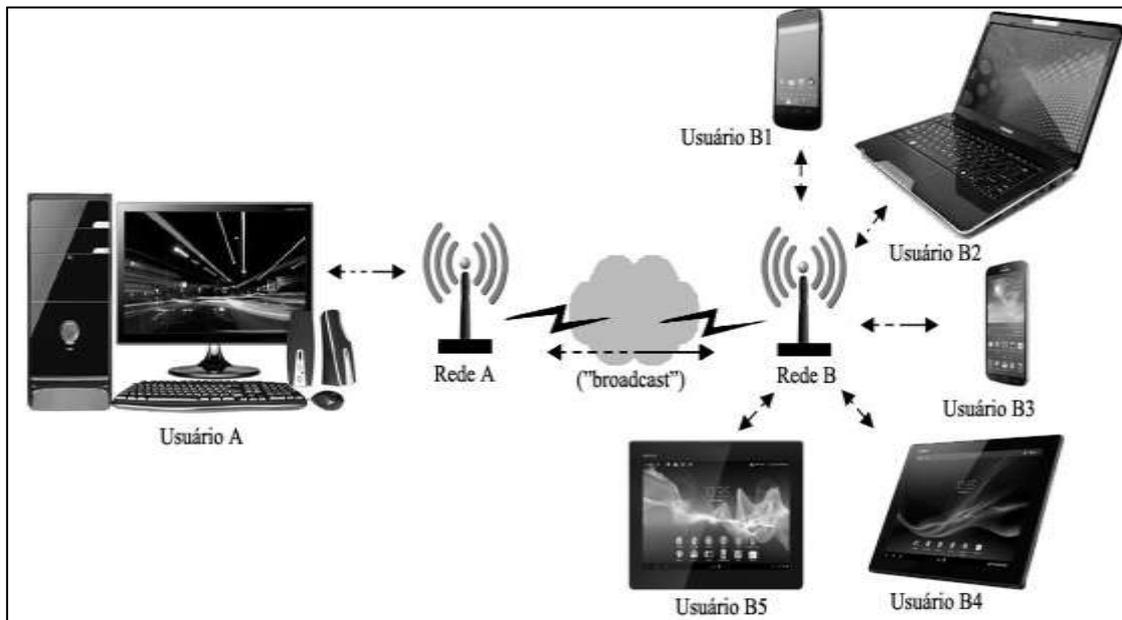


Figura 44: Interação "um-para-todos"

Na interação “alguns-para-alguns” (Figura 45) todos podem mandar mensagem para todos, mas os receptores podem selecionar quais os tipos de mensagens que serão recebidas, lidas e respondidas. Funciona como um mural de informações, onde todos podem por anúncios, mas nem todos são obrigados a lê-los, ou mesmo, a respondê-los (exemplo: blogs, fóruns, redes sociais). Geralmente ocorre de forma assíncrona.

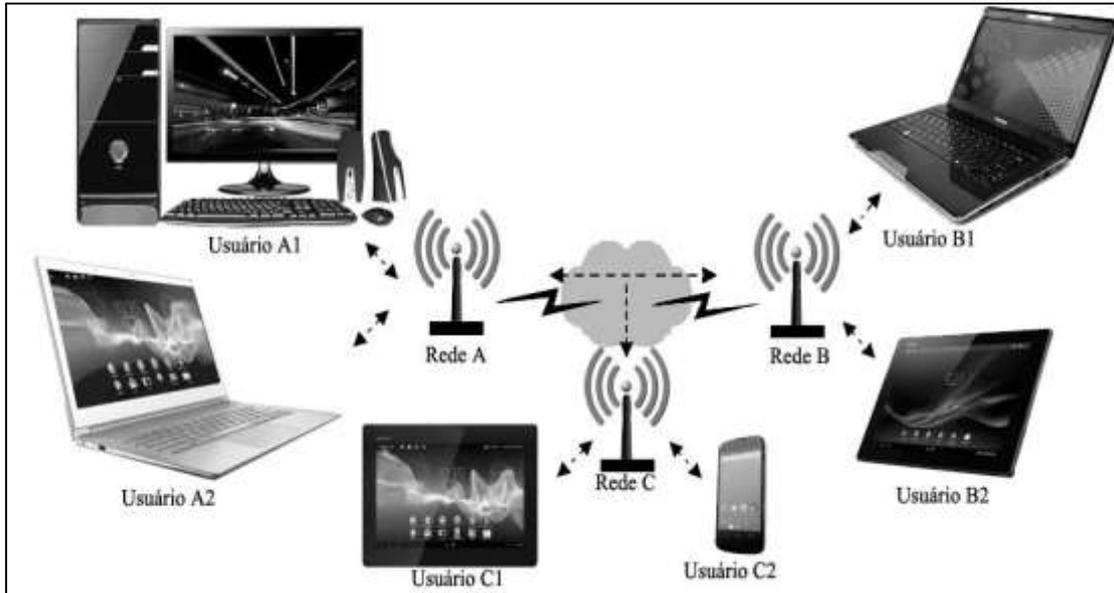


Figura 45: Interação "alguns-para-alguns"

A interação "todos-para-todos" (Figura 46) caracteriza-se pela comunicação entre múltiplos usuários. Neste tipo de interação todos interagem entre si, podendo ocorrer de forma síncrona ou assíncrona.

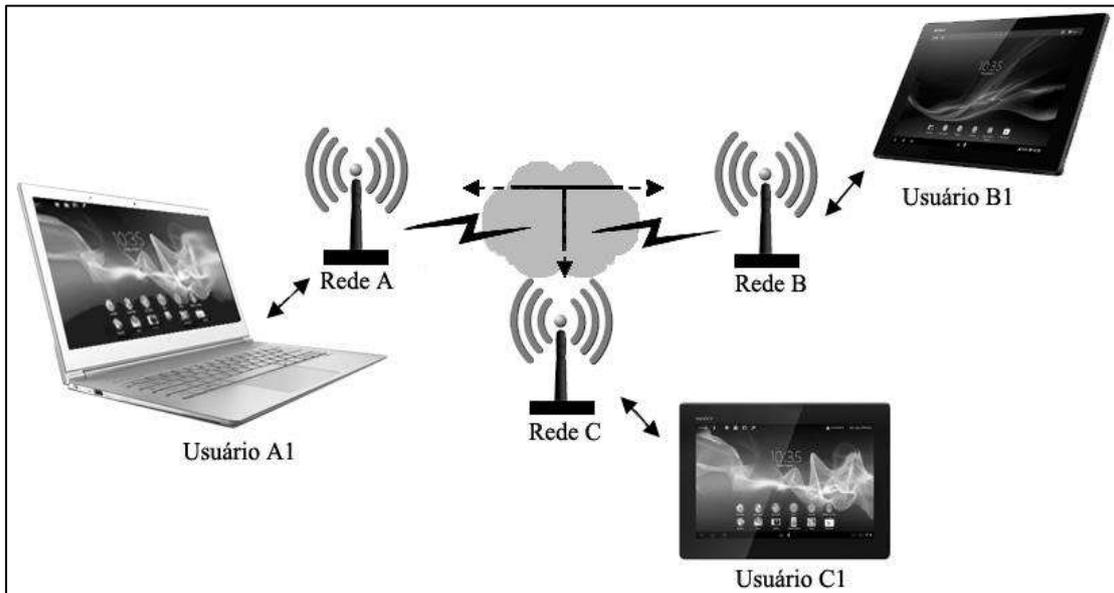


Figura 46: Interação "todos-para-todos"

Esses modos de interação são os mais simples e os mais comuns. A maioria das atividades combina vários modos. Por exemplo, uma sessão de perguntas e respostas que começa com o modo "um-para-todos" (broadcast), apresentando uma pergunta. Esta sessão é seguida pelo debate no modo "todos-para-todos" e, finalmente, a resposta é apresentada pelo modo "um-para-todos".

3.7 VANTAGENS DA APRENDIZAGEM COOPERATIVA

Conforme explanado anteriormente, o emprego de técnicas de aprendizagem cooperativa na educação auxilia a preparação dos indivíduos para a vida em sociedade e, também, para o mercado de trabalho. Permite desenvolver aptidão para o trabalho em equipe, explorando a cooperação em detrimento da competitividade, frequentemente observada nas atividades cotidianas.

Busca-se contemplar, neste trabalho, algumas das principais vantagens no uso da Aprendizagem cooperativa, tanto com foco no nível pessoal, como em relação ao comportamento em grupo.

A seguir são apresentadas as vantagens observadas sob a perspectiva individual e sob a perspectiva da dinâmica do grupo.

3.7.1 PERSPECTIVA INDIVIDUAL

Levando-se em consideração a perspectiva individual, podem-se destacar as seguintes vantagens:

- a. Aumenta efetivamente as competências sociais, de interação e comunicação;
- b. Aumenta a autoestima, a atenção e à segurança dos alunos;
- c. Aumenta a satisfação pelo próprio trabalho;
- d. Fortalece o sentimento de solidariedade e respeito mútuo, baseado nos resultados do trabalho em grupo;
- e. Incentiva o desenvolvimento do pensamento crítico, abrindo a mente a novos horizontes;
- f. Permite adquirir novas informações e conhecer novos temas;
- g. Reforça a ideia de que cada aluno é um professor, já que a aprendizagem emerge do diálogo ativo entre alunos e professores.

3.7.2 DINÂMICA DO GRUPO

Em relação à dinâmica do grupo, tem-se como vantagens:

- a. Interdependência positiva entre os membros dos grupos, requerendo que cada um se responsabilize mais pela sua própria aprendizagem e pela aprendizagem dos outros elementos do grupo;
- b. Motiva os alunos a aprender entre si, a valorizar os conhecimentos alheios e aproveitar as experiências de aprendizagem de cada um;
- c. Permite maior aproximação entre os aprendizes e uma maior troca ativa de ideias dentro de um grupo, aumentando o interesse e o compromisso mútuo;
- d. Permite que os alunos se integrem na discussão e tomem consciência da sua responsabilidade no processo de aprendizagem;
- e. Transforma a aprendizagem em uma atividade social.

3.8 PROBLEMAS DA COOPERAÇÃO POR MEIO DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS

Apesar das diversas vantagens vistas, as experiências envolvendo Aprendizagem Cooperativa também estão sujeitas a problemas, tais como:

- a. A cooperação por meio de recursos de áudio/videoconferência, pode se tornar confusa, pois, em alguns casos, o aprendiz pode perder algumas partes da discussão por estar desatento, ensejando repetições da parte perdida.
- b. Contribuições desiguais entre os membros do grupo, o que tem como consequência direta uma deficiência na aprendizagem de alguns dos participantes;
- c. Dificuldade de acompanhamento do processo de desenvolvimento do trabalho do grupo e, conseqüentemente, é mais difícil para o tutor avaliar quais são os integrantes que

realmente estão se dedicando à tarefa ou quais estão com dificuldades;

- d. Dificuldades em reunir o grupo devido a problemas relacionados ao horário, o que pode gerar falta de coesão;
- e. Existência da incompatibilidade de objetivos e expectativas entre os membros;
- f. Sem um bom projeto que dê suporte à aprendizagem cooperativa, os aprendizes podem ser penalizados. Atividades de grupo, quando pobremente projetadas, criam interações não muito funcionais entre os alunos.
- g. Os tutores tendem a trabalhar mais, pois os aprendizes exigem um maior contato virtual. Com o uso de ferramentas como o e-mail, uma pergunta que era respondida apenas uma vez para todos os alunos, passa a ser respondida a cada aluno que perguntar.

CAPÍTULO 4: REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

"Penso, logo existo."

(René Descartes)

4.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta termos dentro do tema Aprendizagem de Máquina (*Machine Learning*), mais especificamente computação conexionista baseada em Redes Neurais Artificiais (RNA's).

Para entender melhor o contexto conexionista dentro do paradigma dos sistemas inteligentes com aprendizagem de máquina, devem ser esclarecidas as diferenças entre esse tipo de sistema computacional e a computação convencional.

Na computação convencional, existe o problema a ser resolvido e a solução para este problema irá depender da criatividade do programador, isto é, o programador escreve um programa em uma linguagem de programação, criando estruturas de instruções logicamente organizadas para a resolução do problema (programação determinística). Tais programas, diante de uma nova situação, ou seja, de novos problemas associados ao problema anterior, o sistema construído poderá falhar devido ao fato dessa nova situação não ter sido percebida ou prevista pelo programador.

Nos chamados sistemas inteligentes, são criados mecanismos que podem encontrar soluções para situações novas ou não previstas por quem tenta desenvolver a solução para o problema, tais mecanismos são baseados em computação flexível ou em programação não-determinística.

Os sistemas inteligentes procuram simular⁵⁹ o pensamento ou o comportamento

⁵⁹ Quando é mencionado o fato de um sistema inteligente simular o pensamento ou comportamento humano, é devido ao fato de saber-se que o pensamento humano envolve muitos outros fatores como reações químicas, estado emocional, por exemplo, entre outras características ainda não totalmente exploradas até o presente momento.

humano. São estruturados de tal forma que, após o período de “aprendizagem”, sejam capazes de generalizar os padrões de entrada e emitir uma resposta aceitável, coerente, mesmo para os pontos não conhecidos anteriormente, na tentativa de solucionar determinado problema (FAUSETT, 1994).

Os sistemas inteligentes conexionistas, também conhecidos como Redes Neurais Artificiais, fazem parte de uma área específica da inteligência artificial (ou aprendizagem de máquina). Trata-se de técnicas computacionais que propõem uma forma particular de processamento paralelo inspirada na organização física do cérebro humano (FAUSETT, 1994).

Embora o modelo apresentado no Capítulo 7 teoricamente possa ser desenvolvido utilizando-se diversos tipos distintos de redes neurais artificiais, este capítulo dá uma atenção especial às redes do tipo Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP – Multi Layer Perceptron). A seleção desse tipo de rede se dá por vários motivos, dentre eles: grande quantidade de modelos distintos a serem descritos no presente trabalho (estendendo-o ainda mais); facilidade de implementação do modelo MLP; necessidade de uma menor quantidade de dados para treinamento e testes; o tempo necessário para o desenvolvimento, preparação de experimentos e experimentação do sistema proposto; é um dos modelos mais utilizados para demonstração e experimentação; entre outros. Embora o modelo MLP tenha sido o escolhido para os experimentos explicados no Capítulo 9, essa escolha não exclui a possibilidade de experimentos futuros utilizando-se de outros tipos de redes neurais artificiais em um mesmo sistema de córtex artificial (Capítulo 7). É possível, inclusive, a realização de experimentos comparando-se performance entre modelos de redes distintos, entretanto, o presente trabalho não explana sobre esse tipo de comparação, deixando isso para trabalhos futuros.

Este capítulo está organizado de forma a mostrar um estudo mais aprofundado no assunto das redes neurais artificiais MLP, sendo que na Seção 4.2 faz-se uma breve explanação sobre a motivação para as redes neurais artificiais. A Seção 4.3 apresenta um breve histórico das redes neurais artificiais. A Seção 4.4 explica brevemente o funcionamento geral das redes neurais quanto ao seu aprendizado. Na Seção 4.5 é explicado o modelo Perceptron. A Seção 4.6 explana detalhadamente sobre o modelo de redes Perceptron de Múltiplas Camadas, modelo escolhido para uso nos experimentos. Na Seção 4.7 os passos para a criação de um sistema conexionista.

4.2 MOTIVAÇÃO PARA AS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Existem perguntas simples que ainda não têm explicação como, por exemplo: “-O que é minha mente?”; “-O como eu penso?”.

BRAGA (2007) observa que o cérebro humano é o órgão responsável pelas funções cognitivas básicas, bem como a execução de funções sensoriais e motoras e, também, autônomas. Além dessas atribuições, sua complexa rede de neurônios possui a habilidade de armazenar conhecimento, reconhece de padrões e é capaz de interpretar e relacionar observações. Porém, o funcionamento das redes neurais biológicas ainda não foi inteiramente desvendado pelo homem.

Pode-se admitir que o ser humano possui um sistema⁶⁰ muito complexo e que seria interessante entender como ele funciona.

Sabe-se que o cérebro humano é composto de aproximadamente 10^{10} (dez bilhões) unidades básicas chamadas de neurônios e que cada neurônio é conectado a 10^4 (dez mil) outros neurônios (BRAGA, 2007).

O neurônio foi identificado anatomicamente e descrito em detalhes pelo já citado neurologista Santiago Ramón y Cajal (CAJAL, 1894). Como qualquer outra célula biológica, a célula nervosa, o neurônio, é delimitada por uma fina membrana celular que possui propriedades essenciais para o seu funcionamento elétrico.

Segundo Braga BRAGA (2007), os neurônios biológicos são divididos, de maneira simplificada, em três partes complementares: dendritos, axônio e corpo celular (ou soma).

Frequentemente, os dendritos cobrem um volume muitas vezes maior que o corpo celular e tomam a forma de uma árvore dendrital. O axônio, a outra projeção filamentar do neurônio, também chamada de fibra nervosa, serve para conectar o neurônio a outros. O neurônio possui geralmente um único axônio, embora esse possa apresentar ramificações. A maioria dos neurônios que constituem o sistema nervoso central dos vertebrados possui uma capa segmentada de mielina que serve para acelerar a

⁶⁰ Como conceito de sistema, temos: Conjunto de elementos, entre os quais haja alguma relação; Conjunto das partes coordenadas entre si, que formam uma estrutura organizada; Um grupo de itens que interagem entre si ou que sejam interdependentes, formando um todo unificado.

transmissão da informação pelo axônio (KOVÁCS, 2006).

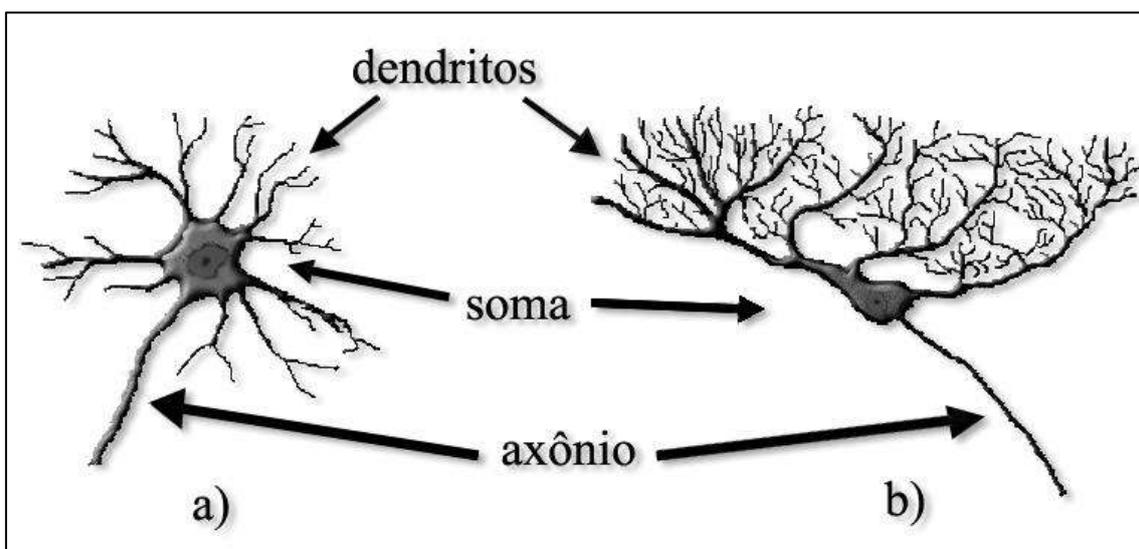


Figura 47: Neurônios do sistema nervoso central dos vertebrados. a) representação do neurônio motor da medula espinhal; b) representação de uma célula de Purkinje do cerebelo (KOVÁCS 2006), p.14.

Sabe-se que, na rede neural biológica, as comunicações entre suas unidades e processamento básicas, os neurônios, ocorrem de através de sinais elétricos⁶¹.

Segundo BRAGA (2007), os dendritos fazem o transporte de informações vindas de outros neurônios para dentro da célula. As informações são somadas no corpo celular, processando assim outra informação, que sai da célula através do axônio. Então, esse axônio e outros axônios de outros neurônios vão se comunicar com os dendritos de uma determinada célula, montando uma rede. Essa comunicação recebe o nome de sinapse nervosa ou junção sináptica, que é parte essencial dos circuitos neurais biológicos, envolvendo a junção das membranas plasmáticas de dois neurônios, de modo a formar uma junção pontual orientada do neurônio pré-sináptico para o pós-sináptico.

A complexa conectividade entre os neurônios, além de outros fatores biológicos e químicos, é responsável pelos atributos da inteligência.

O tamanho de uma junção sináptica é inferior a 1 mm. A representação da

⁶¹ Os sinais elétricos dos neurônios biológicos foram observados pela primeira vez por DuBois Reymond com o auxílio de galvanômetros (explicar) - referenciar. O funcionamento dessas células começou a ser mais bem entendido com a invenção do tubo de raios catódicos, por Crookes, e sua aplicação na observação da atividade elétrica nervosa, principalmente por Erlanger e Gasser – ERLANGER J. E GASSER, H.S., The compound nature os the action current of a nerve as disclosed by the CR oscillograph – Amer. Journal of Physiology, vol 70, 1924.

estrutura de um neurônio pode ser vista na Figura 48, logo a seguir.

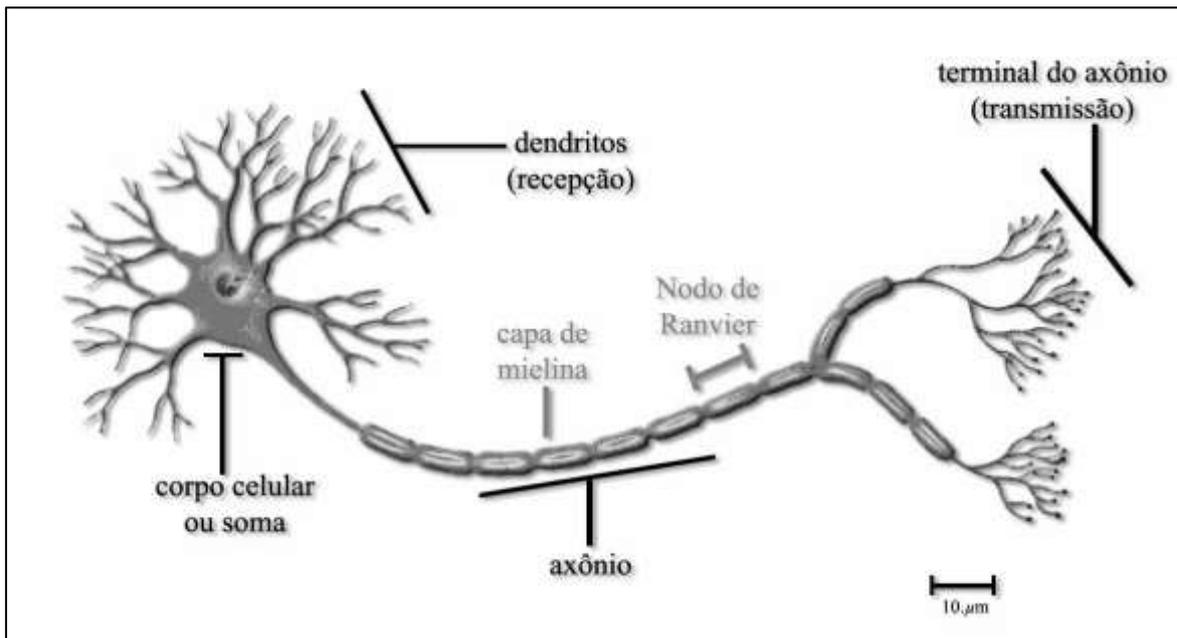


Figura 48: Representação gráfica da estrutura do neurônio biológico

Segundo KOVÁCS (2006), a teoria das redes neurais teve sua origem nos modelos, matemáticos e de engenharia, dos neurônios biológicos.

Com o surgimento e o desenvolvimento da área de I.A., surgiu, também, a ideia de representar o funcionamento do processo de aprendizagem do cérebro humano a partir de determinados programas de computador. A tentativa de simular tal funcionamento deu origem à chamada Rede Neural Artificial. É importante ressaltar que as Redes Neurais Artificiais (também chamadas de RNAs) são apenas inspiradas no modelo conhecido do cérebro humano, e não possuem a mesma complexidade e nem o mesmo funcionamento.

Segundo BRAGA (2007), as redes neurais artificiais (RNAs) podem ser entendidas como conjuntos bem estruturados de unidades de processamento⁶². São sistemas paralelos distribuídos⁶³ compostos por estas unidades de processamento simples (neurônios) que computam determinadas funções matemáticas. Tais unidades são interligadas por inúmeros canais de comunicação, cada qual com um valor numérico

⁶² Referenciadas como “neurônios artificiais”.

⁶³ Os supercomputadores utilizam em sua arquitetura, um sistema composto de processadores paralelos, permitindo a execução de diversas instruções simultaneamente, tal arquitetura garante um altíssimo poder de processamento. O mesmo ocorre para redes neurais (O'BRIEN, 2000).

correspondente denominado de “peso”, formando uma disposição estrutural de camadas (entrada, intermediárias e saída) e conexões entre as camadas. Os pesos servem para ponderar a entrada recebida por cada unidade de processamento e armazenam o conhecimento representado no modelo.

Através das figuras abaixo relacionadas, pode se verificar uma analogia estrutural entre redes neurais biológicas e redes neurais artificiais.

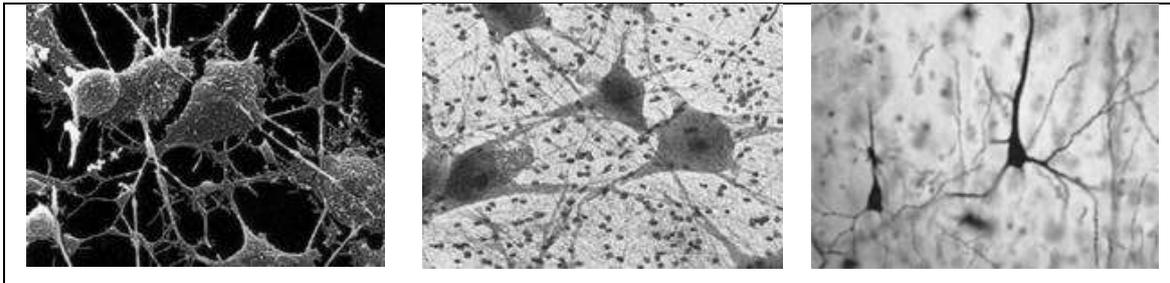


Figura 49: Fotos de redes neurais biológicas (obtidas através de diferentes tipos de microscópios).

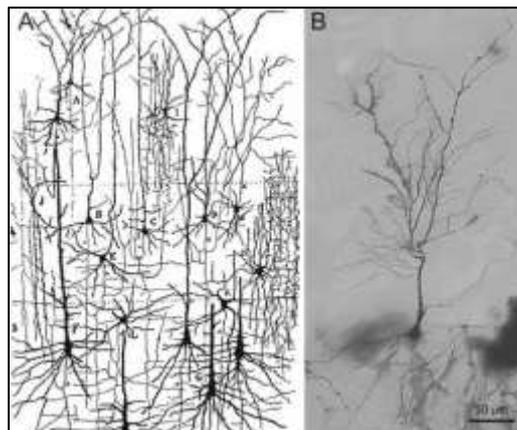


Figura 50: A ilustração A é um dos desenhos originais de Cajal, baseados em neurônios reais impregnados com prata, como se vê na foto B, tirada por Janaína Brusco, da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, em Ribeirão Preto. Fonte: Ciência Hoje (LENT, 2010).

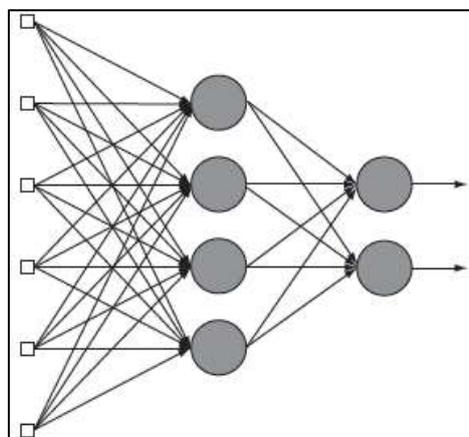


Figura 51: Modelo estrutural de uma rede neural (HAYKIN, 2001).

Ainda segundo BRAGA (2007), na resolução de um determinado problema a rede neural artificial passa inicialmente por uma fase de aprendizagem, em que um conjunto de exemplos é apresentado para a rede, a qual extrai automaticamente as características necessárias para representar a informação fornecida. Essas características são utilizadas posteriormente para gerar respostas para o problema.

Observa-se, portanto, a capacidade de uma RNA de aprender através de exemplos e de generalizar a informação aprendida, tornando-se a maior motivação para o estudo de redes neurais artificiais. Além disso, outras características importantes são observadas, como a capacidade de auto-organização e de processamento temporal. Tais características fazem das RNAs ferramentas computacionais extremamente poderosas e atrativas para a resolução de problemas complexos (BRAGA, 2007).

4.3 BREVE HISTÓRICO DAS REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

Os trabalhos sobre Redes Neurais Artificiais tiveram início por volta de 1940, na Universidade de Illinois, com o neurofisiologista McCulloch e o matemático Walter Pitts, cujas ideias foram publicadas no artigo “*A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*” (MCCULLOCH e PITTS, 1943). MCCULLOCH e PITTS (1943) estabeleceram uma analogia entre o processo de comunicação das células nervosas vivas e o processo de comunicação por transmissão elétrica, propondo o primeiro modelo formal de um neurônio artificial, o neurônio MCP. Em 1947 eles conseguiram demonstrar que era possível conectar os neurônios formais e formar uma rede capaz de executar funções complexas.

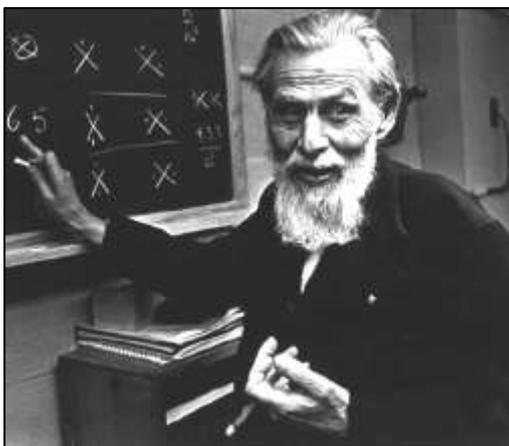


Figura 52: McCulloch - neurofisiologista



Figura 53: Walter Pitts - matemático

O psicólogo Donald Hebb⁶⁴ deu uma importante contribuição ao estudo das RNAs ao elaborar uma teoria baseada no processo de aprendizagem que ocorre no cérebro humano. Hebb mostrou como a plasticidade da aprendizagem das redes neurais é obtida através da variação dos pesos de entrada dos neurônios (HEBB, 1949). A teoria de Hebb⁶⁵ serviu de base para a aprendizagem das RNAs.

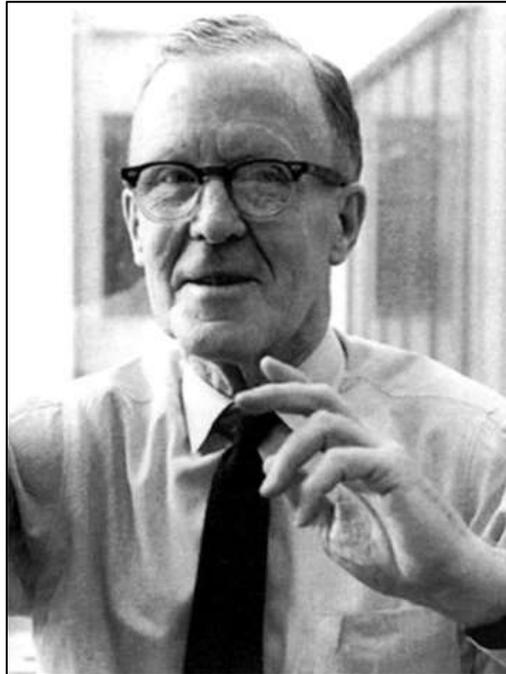


Figura 54: Donald Hebb (1904-1985) - Psicólogo Canadense.

Criada pelo psicólogo Frank Rosenblatt, a Rede Perceptron foi a rede que se tornou mais popular. ROSENBLATT (1958) demonstrou que seu modelo com neurônios MCP, acrescido de sinapses ajustáveis, poderia ser treinado de forma a classificar certos tipos de padrões. Além da topologia e das ligações entre os neurônios, Rosenblatt propôs um algoritmo para treinar a rede neural para que esta executasse determinados tipos de funções.

⁶⁴ Donald Olding Hebb, psicólogo canadense, fez seu doutorado na Universidade de Harvard nos Estados Unidos em 1936, nasceu em 1904 em Chester – Canadá, e faleceu em 1985 em Nova Escócia – Canadá.

⁶⁵ Hoje conhecida como Regra de Hebb na comunidade de estudos de Redes Neurais Artificiais, foi interpretada do ponto de vista matemático e é utilizada em vários algoritmos de aprendizado (BRAGA, 2007).



Figura 55: Frank Rosenblatt - Psicólogo

O modelo ADALINE (*AD*Aptative *LINE*ar) de WIDROW⁶⁶ e HOFF⁶⁷ (1960) foi apresentado na literatura quase que simultaneamente ao modelo Perceptron de Rosenblatt. Semelhante ao modelo Perceptron, o modelo ADALINE baseava-se em elementos de processamento que executam operações sobre a soma ponderada de suas entradas. Apesar das semelhanças, os trabalhos que descrevem tais modelos surgiram em áreas diferentes. Enquanto Rosenblatt enfocava a descrição do Perceptron em aspectos cognitivos do armazenamento da informação e da organização cerebral, Widrow e Hoff enfocaram a descrição de seu modelo na construção de filtros lineares. O algoritmo de treinamento do modelo ADALINE se baseia na magnitude e no sinal do gradiente do erro para obter a direção do valor de ajuste a ser aplicado nos pesos⁶⁸. Mais tarde Widrow e Hoff estruturaram uma nova rede denominada de MADALINE (*MA*ny *AD*Aptive *LINE*ar).

⁶⁶ O engenheiro Dr. Bernard Widrow nasceu em dezembro de 1929, e é professor de engenharia elétrica na Universidade Stanford. Coinventor do algoritmo LMS, em trabalho com seu primeiro aluno de doutorado Marcian Hoff.

⁶⁷ Marcian Edward "Ted" Hoff, Jr é engenheiro nascido em outubro de 1937, Rochester, New York – EUA.

⁶⁸ Este algoritmo de treinamento, conhecido como Regra Delta, deu origem anos mais tarde ao primeiro algoritmo para treinamento de redes perceptron de múltiplas camadas: o *back-propagation*. Este algoritmo é mais bem explicado na Seção 4.6 do presente trabalho.

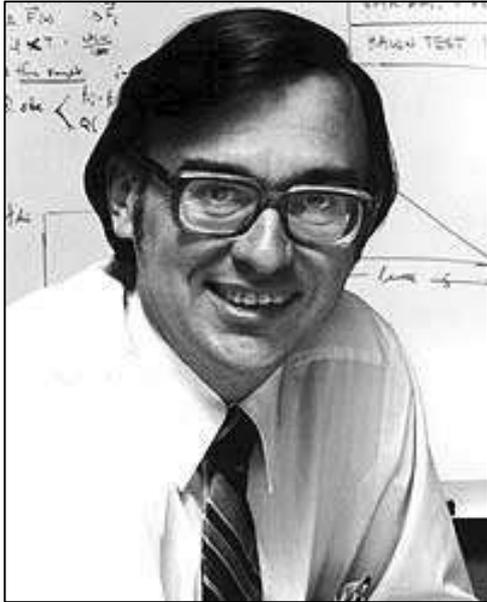


Figura 56: Marcian Hoff - Engenheiro



Figura 57: Bernard Widrow - Engenheiro

A credibilidade da Rede Perceptron não durou muito, devido à publicação do livro “*Perceptrons: a introduction to computational geometry*”, em 1969. O livro, cujos autores foram Marvin Minsky e Seymour Papert⁶⁹, apresentou severas críticas às redes neurais, argumentando que os Perceptrons apresentavam limitações em suas aplicações, não conseguiam detectar paridade, conectividade e simetria, que são problemas não-linearmente separáveis, chamados de “problemas difíceis de aprender” (hard learning problems) – (MINSKY e PAPERT, 1969).

De acordo com BRAGA (2007), apesar de terem surgido trabalhos significativos nas décadas que compreendem o período de 1960 e 1970 (séc. XX), como os de Igor Aleksander (redes sem pesos – Inglaterra), Kunihiko Fukushima (cognitron e neiocognitron – Japão), Paul Werbos (feedforward network - Estados Unidos), Anderson, Steven Grossberg (sistemas autoadaptativos – Estados Unidos) e Teuvo Kohonen (memórias associativas e modelos auto-organizáveis – Finlândia), as pesquisas com as redes neurais só voltaram a recuperar sua credibilidade com os trabalhos do físico e biólogo John Hopfield.

⁶⁹ Mencionado anteriormente no Capítulo 2, Seção 2.2.



Figura 58: John Hopfield – Físico e Biólogo

Hopfield publicou um artigo em 1982 destacando as propriedades associativas das RNAs, mostrando relação entre redes recorrentes autoassociativas e sistemas físicos, o que oportunizou o emprego de teorias da Física para estudar os modelos de redes neurais artificiais (HOPFIELD, 1982).

Com a retomada do interesse em redes neurais na década de 1980, RUMELHART⁷⁰ (1986) apresentou, em 1986, o algoritmo *backpropagation*, cujo princípio já havia sido apresentado na tese de doutorado de Werbos, “*Beyond Regression*”, mas que não despertou atenção na época. O algoritmo *backpropagation* permite o treinamento de redes neurais multicamadas, expandindo a capacidade das redes neurais para resolução de problemas com níveis de maior complexidade, além dos problemas linearmente separáveis, mostrando que a perspectiva de Minsky e Papert a respeito do Perceptron na verdade era bastante pessimista. A partir de então as pesquisas sobre redes neurais artificiais ganharam um novo fôlego.

⁷⁰ Rumelhart obteve sua graduação pela universidade de Dakota do Sul, recebendo um “B.A.” em psicologia e matemática em 1963. Estudou psicologia matemática na universidade de Stanford, recebendo seu Ph. D. em 1967. De 1967 a 1987 trabalhou no departamento de psicologia da universidade de Califórnia, San Diego. Em 1987 mudou-se para a universidade de Stanford, servindo como o professor lá até 1998. Afastou-se de suas atividades por causa de uma doença neurodegenerativa progressiva.



Figura 59: David E. Rumelhart, Ph.D.

4.4 FUNCIONAMENTO DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Para se possa entender o funcionamento das redes neurais é necessário que conheçamos a sua estrutura básica fundamental, que é o neurônio artificial (Figura 60).

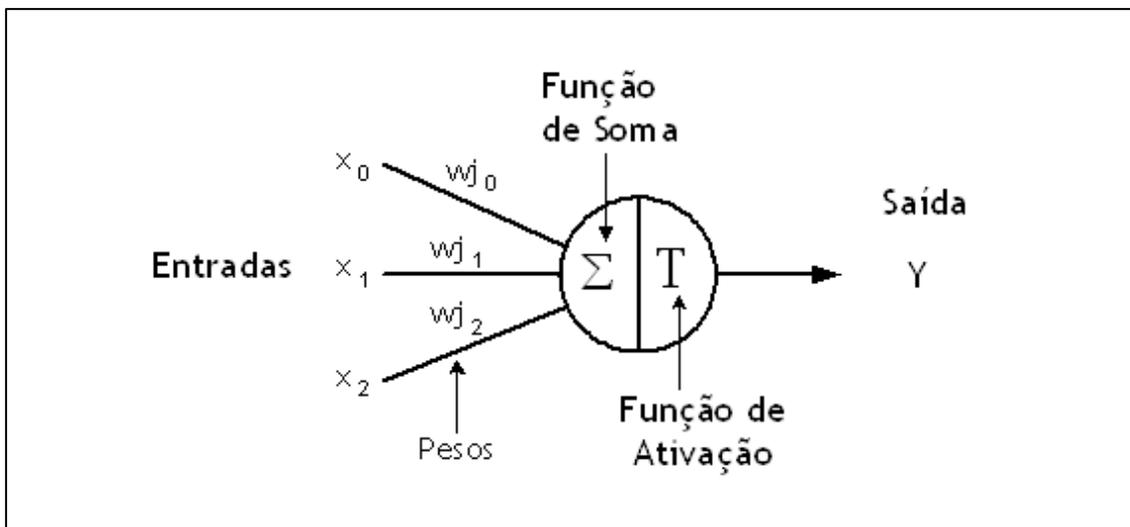


Figura 60: Estrutura do neurônio artificial MCP de McCulloch e Pitts

Observa-se que o neurônio artificial possui um ou mais sinais de entrada (x_0 , x_1 , x_2) e um sinal de saída (Y). Os pesos (w_{j0} , w_{j1} , w_{j2}) são valores que indicam o grau de importância que determinada entrada possui em relação ao respectivo neurônio. As entradas são multiplicadas pelos pesos, e a soma desses resultados (função de soma Σ) é

o sinal de excitação no neurônio (MCCULLOCH e PITTS, 1943, TAFNER, 1995). O sinal de excitação produzirá uma saída conforme a função de ativação⁷¹ (ou função de transferência T) interna do neurônio.

De forma análoga ao que ocorre no cérebro humano, os neurônios artificiais são interconectados, formando a rede neural artificial (conforme ilustrado na Figura 61). Assim, é possível criar estruturas para generalização de padrões por meio de variadas entradas, produzindo saídas que representam algo do mundo real como resposta aos diferentes dados apresentados à rede.

As Redes Neurais Artificiais possuem a capacidade de aprender por exemplos e fazer interpolações e extrapolações do que aprenderam.

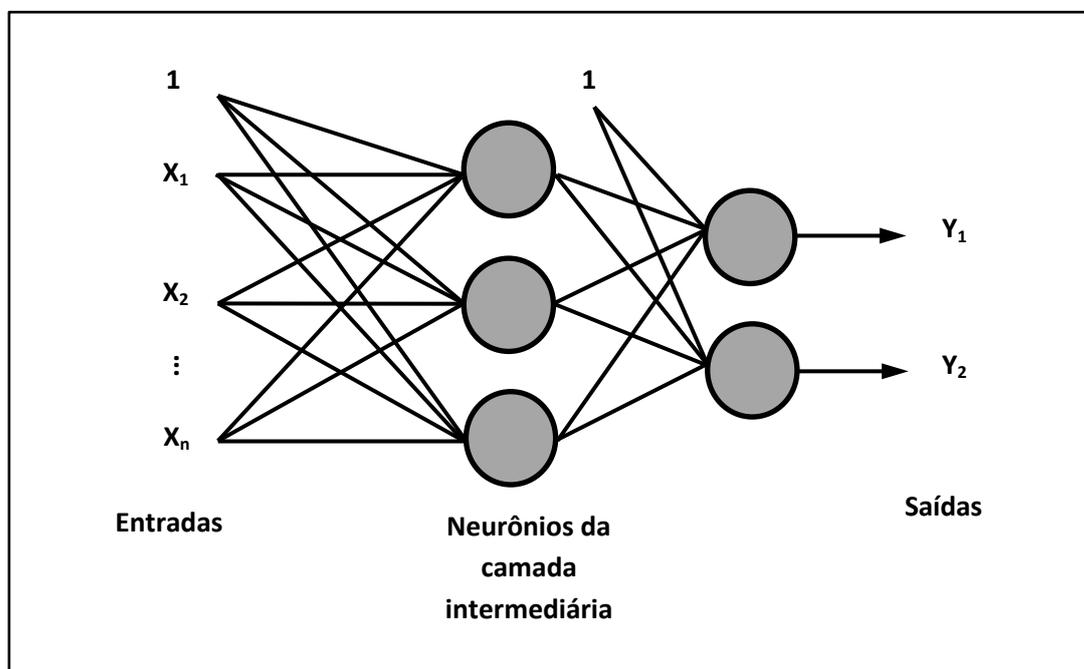


Figura 61: Representação simplificada de uma rede neural artificial (RNA)

Em termos gerais, uma RNA possui o seguinte funcionamento: depois de especificada a estrutura de interconexão dos neurônios, um conjunto de treinamento (uma série de exemplos) é apresentado com o objetivo de treinar a RNA no reconhecimento dos padrões. Nesta fase de treinamento, os pesos das entradas de cada neurônio são ajustados, conforme os exemplos apresentados, permitindo a adaptação da rede às situações apresentadas.

⁷¹ A função de ativação é responsável por gerar a saída y do neurônio a partir dos valores dos vetores de peso $\mathbf{w}=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ e dos valores de entrada $\mathbf{x}=(x_1, x_2, \dots, x_n)$, explica BRAGA (2007), p. 9.

Ao final da fase de treinamento a rede está preparada para reconhecer os padrões que lhe foram apresentados, bem como capacitada a dar uma resposta coerente a padrões que não tenham feito parte do conjunto de treinamento, classificando-os dentro de um dos padrões previamente “aprendidos”. Assim, a rede já “treinada”, em vez de dizer que um novo padrão não existe, reconhece-o como um padrão assemelhado a outro já conhecido. Neste caso, a resposta gerada é considerada adequada (efeito da generalização).

Em uma aplicação específica, para o treinamento da RNA, uma amostra representativa⁷² da população que se deseja fazer a classificação é utilizada para a “aprendizagem”. As características fornecidas (estímulos) são os parâmetros necessários para o ajuste do comportamento interno da RNA. Quanto mais representativa for a amostra, melhor será a qualidade de resposta da rede na identificação de novos padrões.

Após o treinamento, avalia-se a rede com outra amostra, denominada “conjunto de teste”, extraída da mesma população do conjunto de treinamento. A partir desta amostra, verifica-se o índice de resposta da rede aos padrões apresentados. Se o índice estiver dentro de limites esperados (pré-estabelecidos), a rede estará pronta para utilização. Depois de treinadas e testadas, as redes neurais são utilizadas para tarefas de classificação, otimização ou auto-organização, dependendo da natureza do problema.

Classificar um dado individual é associar esse dado a uma classe de padrões já conhecida pela rede. A tarefa de associação faz o reconhecimento do dado individual baseado em aspectos deste ou de outros dados individuais. A tarefa de otimização procura encontrar soluções ótimas, atendendo a um conjunto de restrições. Por fim, a auto-organização conduz a rede a organizar os dados individuais adaptando-se a detecção especializada de cada dado no futuro (FU, 1994, ROSENBLATT, 1958, RUMELHART, 1986).

A fase de aprendizado, também chamada de “treinamento da rede”, consiste no processo⁷³ que indica os passos pelos quais os parâmetros de uma rede neural artificial são ajustados, por continuados estímulos gerados pelo ambiente no qual a rede

⁷² Na verdade, a representatividade não é garantida, sendo a amostra imparcial.

⁷³ Tal processo é realizado através de um algoritmo de aprendizado. Um algoritmo de aprendizado consiste em um conjunto de procedimentos bem definidos utilizados para adaptar os parâmetros de uma RNA para que a mesma possa aprender uma determinada função.

está operando. Desta forma permite a retenção das características de padrões conhecidos e, inclusive, o emprego da rede na generalização ou classificação de novos padrões.

O tipo específico de aprendizado realizado é definido pela maneira particular como ocorrem os ajustes realizados nos parâmetros.

Vários métodos de treinamento de RNAs foram criados, podendo ser agrupados em dois modelos principais: aprendizado supervisionado e aprendizado não-supervisionado. Outros dois modelos bastante conhecidos são os de aprendizado por reforço⁷⁴ e aprendizado por competição⁷⁵.

4.4.1 APRENDIZADO SUPERVISIONADO

No “aprendizado supervisionado”, para cada exemplo coletado (na amostragem), a resposta da RNA é comparada com uma saída esperada (conhecida) correspondente. Caso sejam diferentes, os pesos da rede são ajustados. Este processo é repetido continuamente para todos os exemplos, utilizando-se a mesma amostra repetidas vezes. O treinamento é finalizado quando as respostas estiverem concordantes com suas respectivas expectativas. Há alguma semelhança entre o processo que caracteriza o aprendizado supervisionado e o que é denominado “aprendizagem por tentativa e erro” no campo das teorias psicológicas da aprendizagem (CATANIA, 1998).

4.4.2 APRENDIZADO NÃO-SUPERVISIONADO

No “aprendizado não-supervisionado”, os exemplos da amostragem são apresentados à rede no sentido de forçar a auto-organização das informações em sua estrutura, detectando as regularidades presentes. Os neurônios são elementos classificadores (especializados em conjuntos específicos de padrões não definidos explicitamente no treinamento) e os dados de entrada são os elementos para

⁷⁴ Caso particular de aprendizado supervisionado, tendo como principal diferença a medida de desempenho utilizada em cada um dos sistemas. No aprendizado supervisionado, a medida de desempenho é baseada no conjunto de resposta, enquanto que no aprendizado por reforço o desempenho é baseado em qualquer medida que possa ser fornecida ao sistema.

⁷⁵ Caso particular de aprendizado não-supervisionado cuja ideia neste caso é, dado um padrão de entrada, fazer com que as unidades de saída disputem entre si para serem ativadas (competição entre as unidades de saída).

classificação.

Um bom exemplo de aprendizagem não supervisionada é o desenvolvimento do discernimento de cores pela visão humana. Inicialmente, a visão não está completamente desenvolvida, contudo, pela estimulação natural do ambiente onde vivemos, formamos em nosso cérebro uma estrutura que ordena as cores, de modo que cores semelhantes são detectadas por neurônios espacialmente próximos. Ao ser apresentada uma entrada, os neurônios competem para estabelecer qual será o identificador do novo padrão. Após isto, definido o identificador, os outros neurônios “sabem” qual é o responsável pela identificação do padrão. Desta forma, quando padrões semelhantes são apresentados, todos “procuram encaminhar” o padrão para o neurônio identificador definido (GOLDSTEIN, 1999).

4.5 PERCEPTRON

Como mencionado anteriormente, o estudo de MCCULLOCH e PITTS (1943) enfocou a modelagem de um neurônio biológico e sua capacidade computacional por meio da apresentação de vários exemplos de topologias de rede com capacidade de execução de funções booleanas (“E”, “OU”, “NÃO E”, “NÃO OU”, entre outras derivadas). Porém, não apresentava solução para problemas não-linearmente separáveis como, por exemplo, a função lógica “OU EXCLUSIVO”.

ROSENBLATT (1958) deu continuidade ao trabalho de McCulloch e Pitts, apresentando uma rede com múltiplos neurônios do tipo “discriminadores lineares” (neurônios MCP), chamando-a de Perceptron.

De acordo BRAGA (2007), o Perceptron de Rosenblatt é uma rede com topologia composta por unidades entrada (retina – unidades sensores), por um nível intermediário formado pelas unidades de associação (com pesos fixos definidos antes do treinamento) e por um nível de saída composto pelas unidades de resposta. Embora essa topologia apresente três níveis, ela é conhecida como perceptron de uma única camada, já que somente o nível de saída exhibe propriedades adaptativas.

Como visto anteriormente, a euforia originada com o Perceptron durou pouco devido às críticas de Minsky e Papert.

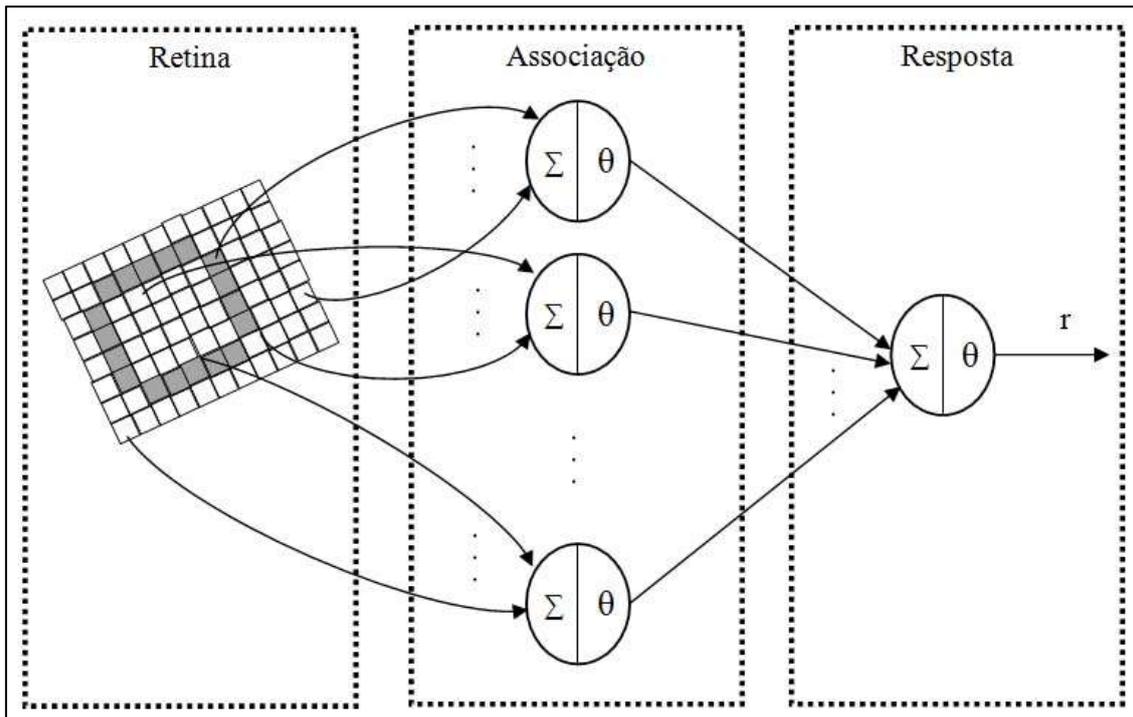


Figura 62: Representação da topologia de um perceptron simples com uma única saída.

4.6 REDES PERCEPTRON DE MÚLTIPLAS CAMADAS

As RNAs Perceptrons de Múltiplas Camadas (também chamadas de redes MLP – Multi Layer Perceptron) são, sem dúvida, capazes de resolver “problemas difíceis de aprender” (BRAGA, 2007).

Quando se usa uma RNA de uma só camada, os padrões de treinamento apresentados à entrada são mapeados diretamente em um conjunto de padrões de saída da rede, ou seja, não é possível a formação de uma representação interna. Neste caso, a codificação proveniente do mundo exterior deve ser suficiente para programar esse mapeamento. Essa restrição implica que padrões de entrada similares resultem em padrões de saída similares, o que leva o sistema à incapacidade de aprender importantes mapeamentos que fogem a tais condições. Como resultado, padrões de entrada com estruturas similares, fornecidos pelo mundo externo e que possam produzir saídas diferentes, não são possíveis de serem mapeados por redes sem representações internas, ou seja, por redes sem camadas intermediárias.

Tornou-se necessário uma estrutura com maior capacidade de representação para solução de problemas mais complexos. Em 1986, Rumelhart, Hinton e Williams demonstraram que é possível treinar, de forma eficiente, redes com camadas

intermediárias. Tal demonstração resultou no modelo de RNA mais utilizado atualmente, a Rede Perceptron de Múltiplas Camadas.

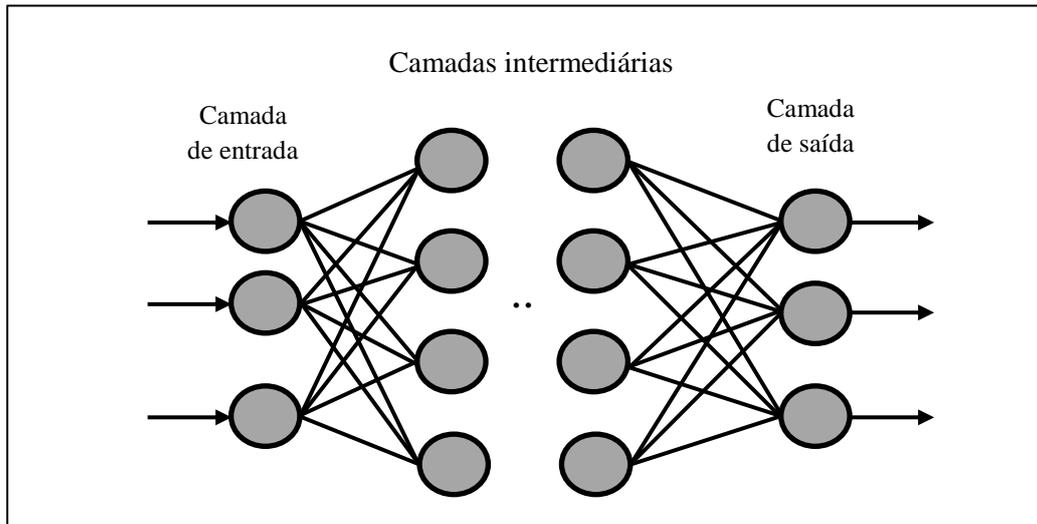


Figura 63: Representação simplificada de uma rede MLP

Observa-se na figura anterior, que a rede MLP pode apresentar mais de uma camada, e cada uma dessas camadas possui uma função específica. A camada de saída recebe os estímulos da camada intermediária e constrói o padrão que será a resposta. As camadas intermediárias funcionam como extratoras de características, seus pesos são uma codificação de características apresentadas nos padrões de entrada e permitem que a rede crie sua própria representação, mais rica e complexa, do problema. Infelizmente, tais representações internas não são compreendidas facilmente.

Além da habilidade de aprender através de treinamento, o poder computacional das redes neurais artificiais do tipo MLP é derivado da combinação de três características distintas:

- a. O modelo de cada neurônio da rede inclui uma função de ativação não linear⁷⁶;
- b. A rede possui uma ou mais camadas de neurônios ocultos⁷⁷, que não fazem parte nem da entrada e nem da saída;
- c. A rede exibe um alto grau de conectividade⁷⁸, determinado pelas sinapses da rede.

⁷⁶ Função de ativação mais comum é a função logística sigmoide.

⁷⁷ Estes neurônios capacitam a rede a aprender as tarefas mais complexas, extraindo características significativas dos padrões de entrada.

Obtendo as conexões apropriadas entre as unidades de entrada e um conjunto suficientemente grande de unidades intermediárias, pode-se sempre encontrar a representação que irá determinar o mapeamento correto da entrada para a saída através das unidades intermediárias. CYBENKO (1988) provou que são necessárias no máximo, duas camadas intermediárias (com um número suficiente de nodos por camada) para se produzir quaisquer mapeamentos e que apenas uma camada intermediária é suficiente para aproximar qualquer função contínua.

4.6.1 TREINAMENTO DAS REDES MLP

Existem diversos algoritmos de treinamento para RNAs do modelo MLP. A maioria desses algoritmos é do tipo aprendizado supervisionado (visto anteriormente), ou seja, é necessária a apresentação da saída desejada para cada entrada apresentada à rede.

As Redes MLP possuem grande aplicação na solução de problemas complexos, utilizando treinamento supervisionado com o algoritmo *backpropagation*.

Fundamentada na regra de aprendizagem por correção de erro, a aprendizagem consiste de um passo para frente (propagação ou *forward*) e um passo para trás (retro propagação, *backward* ou *backpropagation*) através das diferentes camadas da rede (HAYKIN, 2001), conforme pode ser observado na figura logo a seguir. Para frente propagam-se os estímulos, enquanto os erros são retropropagados.

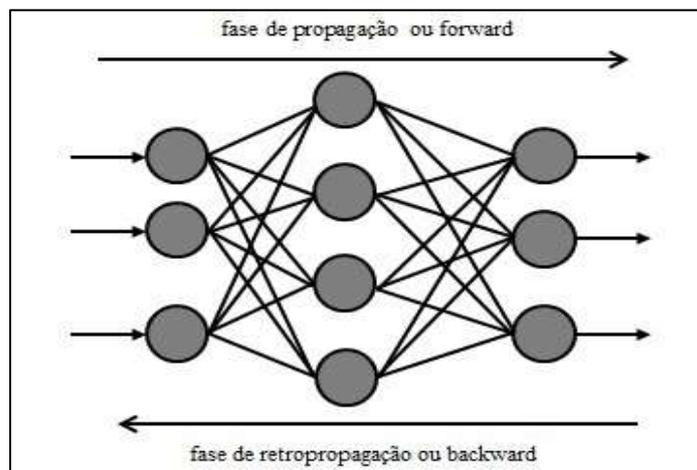


Figura 64: Fases do treinamento da Rede MLP, utilizando algoritmo *backpropagation*.

⁷⁸ Uma modificação na conectividade requer uma mudança nas conexões ou seus pesos.

Na propagação, as variáveis do conjunto de entrada são apresentadas na camada de entrada da rede (sensores). Durante o passo da propagação, os pesos sinápticos são todos fixos. Cada entrada é ponderada pelo seu peso respectivo e aplicado ao neurônio ou neurônios da camada subsequente, produzindo um determinado efeito. Esta situação é repetida nas camadas subseqüentes até á camada de saída, em que é produzida uma representação da rede (resposta da rede) para os padrões que foram aplicados na camada de entrada. Esta ação ocorre tanto na fase de treinamento da rede como na fase de utilização da rede (treinada).

Durante a fase de treinamento da rede, a resposta da rede é comparada com o valor esperado (o que caracteriza a supervisão). Caso os valores sejam diferentes, o algoritmo de treinamento *backpropagation* inicia a retroação. A resposta da rede é subtraída do valor da resposta desejada, produzindo um sinal de erro⁷⁹. Este sinal de erro é propagado para trás através da rede, no sentido contrário realizado na propagação, vindo daí o nome de retro propagação de erro (*backpropagation*). Na retroação, cada peso sináptico é reajustado para fazer com que a resposta da rede se aproxime ao valor desejado, chama-se isso de “convergência”.

Conforme observado na figura a seguir, o algoritmo *backpropagation* é um algoritmo supervisionado que utiliza pares de entrada e saída para ajustar os pesos da rede, por meio da correção dos erros.

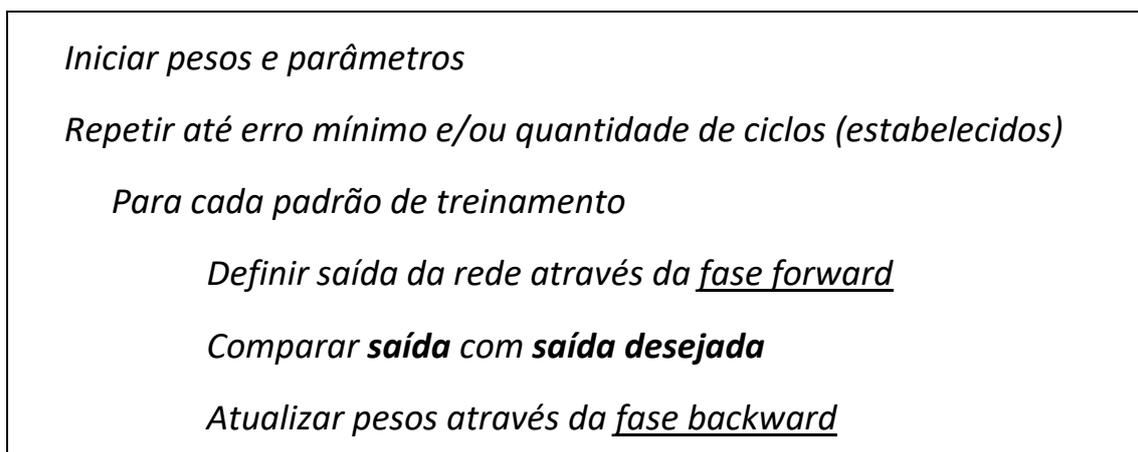


Figura 65: Algoritmo backpropagation

⁷⁹ Um sinal de erro se origina em um neurônio de saída da rede e se propaga para trás (camada por camada) através de toda a rede. Referimo-nos a ele como um “sinal de erro” por que sua computação por cada neurônio da rede envolve uma função dependente do erro, de uma forma ou de outra (HAYKIN, 2001).

Na etapa de treinamento da rede, é importante a definição de alguns parâmetros estratégicos. Portanto, é necessário estabelecer o objetivo do treinamento bem como a forma de utilização e apresentação do conjunto de dados.

A definição do objetivo estabelece até onde o treinamento será realizado, ou seja, o ponto de parada do algoritmo de treinamento. O final do treinamento pode ocorrer estabelecendo-se um valor de desempenho a ser atingido, quantidade de ciclos de treinamento ou, ainda, a combinação dos dois fatores. Tal valor de desempenho depende da expectativa de utilização da rede.

A forma de utilização do conjunto de dados define como a amostra será dividida para compor os conjuntos de treinamento e de teste da rede. O conjunto de treinamento é utilizado para treinamento da rede. O conjunto de validação, uma subdivisão do conjunto de treinamento, é utilizado para verificar a eficiência da rede quanto a sua capacidade de generalização durante o treinamento, podendo ser empregado como critério de parada do treinamento. O conjunto de teste é utilizado após o encerramento do treinamento para verificar o desempenho da rede sob condições reais de utilização. Nas situações onde a representatividade da amostra é pequena, alguns pesquisadores utilizam toda a amostra obtida como conjunto de treinamento apenas. Nestas situações, o teste da rede é observado durante a sua utilização.

A forma de apresentação dos dados à rede durante o treinamento pode ser individual ou em lote. Quando a apresentação é feita em lote, todo o conjunto de exemplos do treinamento é apresentado antes de iniciar a fase de retro propagação para ajuste dos pesos. Quando os exemplos são apresentados individualmente, a retropropagação é realizada após a apresentação de cada um.

4.6.2 FORMALIZAÇÃO MATEMÁTICA DO TREINAMENTO

A formalização matemática do processo de treinamento citado na seção anterior é apresentada logo a seguir. Vale ressaltar que o ajuste de pesos realizado pelo algoritmo baseia-se na regra delta proposta por Widrow e Hoff, utilizada para o treinamento de redes Adaline (WIDROW e HOFF, 1960). A generalização desse algoritmo para redes de múltiplas camadas é conhecida como regra delta generalizada ou apenas *backpropagation*.

A Figura 66, a seguir, é utilizada como referência no intuito de facilitar o entendimento das equações.

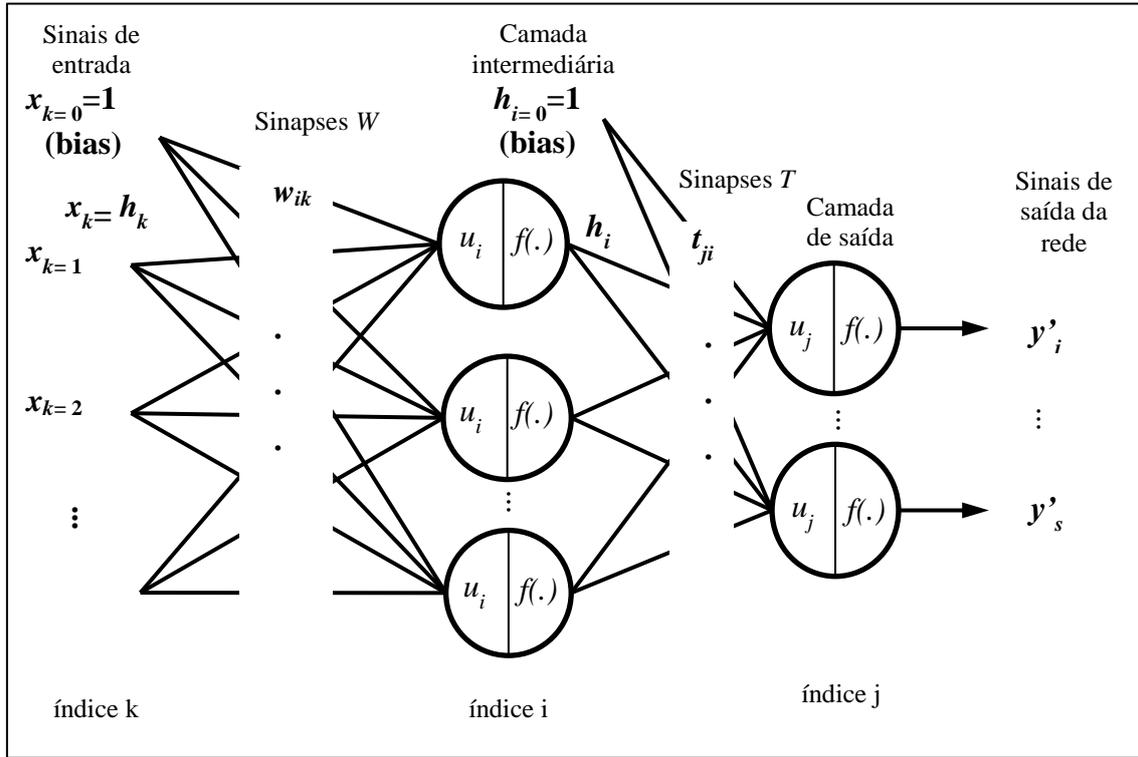


Figura 66: Modelo de referência para a formalização matemática

Considerando a estrutura de RNA proposta para referência, tem-se: os sinais de entrada, aqui representados pelo vetor X; W e T são matrizes de pesos das sinapses e u representa a soma ponderada das variáveis de entrada, sendo:

$$u_i = \sum_k w_{ik} x_k + w_{0i} \cdot 1 \text{ (bias)} \quad (4)$$

$$h_i = f(u_i) \quad (5)$$

$$u_j = \sum_{i=1}^s t_{ij} h_i + t_{0j} \cdot 1 \text{ (bias)} \quad (6)$$

O valor obtido através da equação (4) é convertido em não linearidade através de uma função de ativação $f(\cdot)$, e o valor h_i obtido através da função é a saída do neurônio artificial. O mesmo processo é realizado agora que se têm os valores h_i das saídas dos neurônios da camada intermediária, utilizando-se das sinapses T, conforme equação (6).

O processo segue até que os neurônios da camada de saída gerem os valores para os y_j (finalizando a fase de propagação - *forward*), formando o vetor de saída da rede Y .

$$y_j = f(u_j) \quad (7)$$

Como o treinamento é supervisionado, os valores de saída contidos Y , gerados pela rede, são comparados com os valores de saída desejados, representados por um vetor Y_d , previamente definido. A diferença entre os valores é denominada de erro e conforme observado na equação (8).

$$e_j(n) = y_{d_j}(n) - y_j(n) \quad (8)$$

Forma-se então o vetor de erro $\varepsilon = [e_1 \ e_2 \ \dots \ e_s]$. Estes sinais são utilizados para computar os valores dos erros nas camadas anteriores e fazer as correções necessárias nos pesos sinápticos (contidos em T e W), com o objetivo de minimizar o erro de resposta da rede aos valores apresentados, aproximando a saída da rede à saída desejada.

Após a obtenção dos valores dos erros de saída em uma iteração, começa então a computação para trás (*backpropagation*). Faz-se o cálculo dos erros locais para cada neurônio, desde a camada de saída até a entrada, através de uma rede associada. O erro de um neurônio de saída j em uma iteração n é definido pela equação (8), sendo a soma dos erros quadráticos de todos os neurônios de saída em uma iteração definido por:

$$\varepsilon(n) = \frac{1}{2} \sum_j e_j^2(n) \quad (9)$$

Como a saída linear do neurônio j da camada de saída é definida pela equação (7), pode-se reescrever o erro do neurônio j como:

$$e_j(n) = y_{d_j}(n) - f(u_j(n)) \quad (10)$$

Desta forma a equação (9) pode ser reescrita conforme equação (11):

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \sum_j \left(y_{d_j} - f(u_j) \right)^2 \quad (11)$$

Segundo BRAGA (2007), o treinamento consiste em ajustar os vetores de pesos em direção contrária ao gradiente do erro. Dessa forma, temos que $\Delta w \propto -\nabla \varepsilon$. Assim, a equação (12) apresenta o ajuste a ser aplicado no peso w_{ik} , que conecta a entrada k ao neurônio i da camada intermediária, em uma iteração n .

$$\Delta w_{ik}(n) = \underbrace{\eta h'_i(u_i(n))}_{(1)} \underbrace{\sum_j \varepsilon_j(n) f'(u_j(n)) t_{ji}(n)}_{(2)} \underbrace{x_k(n)}_{(3)} \quad (12)$$

Na equação (12), η é uma constante de proporcionalidade denominada de taxa de aprendizado. O termo (1) corresponde à derivada da função de ativação do neurônio i da camada intermediária. O termo (2) corresponde a uma medida de erro do neurônio i da camada intermediária. Como o somatório é feito em j , correspondendo aos neurônios da camada de saída, tem-se aqui a soma ponderada de todos os erros dos neurônios de saída pelos pesos que os conectam ao neurônio i da camada intermediária. Através dessa soma ponderada dos erros da camada de saída, os erros calculados com base no conjunto de treinamento “propagam para trás” para permitir o ajuste dos pesos da camada intermediária (BRAGA, 2007).

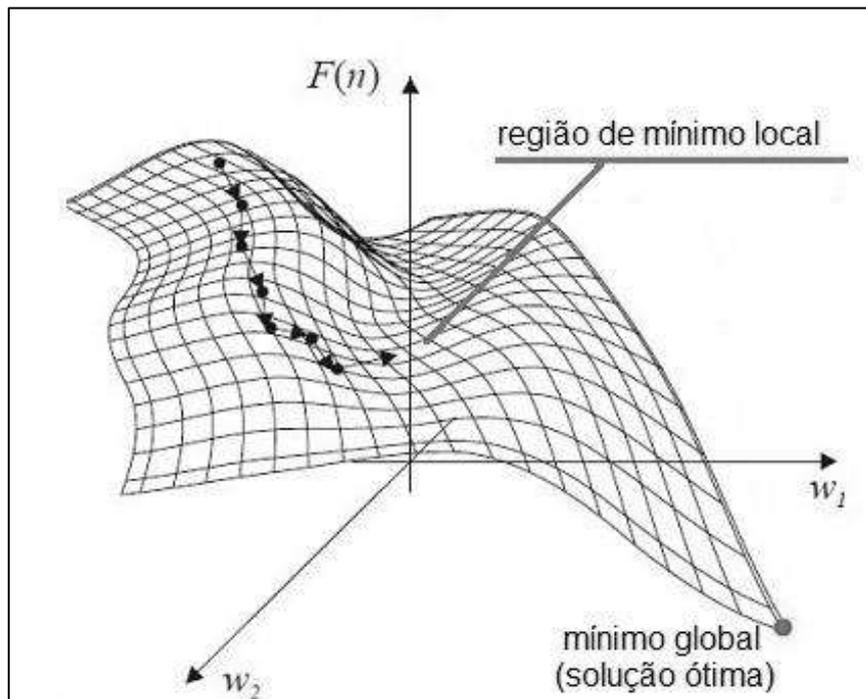


Figura 67: Exemplo de superfície de erro.

BRAGA (2007) ressalta que a principal dificuldade no treinamento de redes MLP com o algoritmo *backpropagation* está relacionada à sua sensibilidade às características da superfície de erro, o que dificulta sua convergência em regiões de baixo gradiente e de mínimos locais. É comum, portanto, o uso de técnicas para de minimizar esse problema, tais como:

- a. Utilizar taxa de aprendizado decrescente;
- b. Adicionar ruídos aos dados;
- c. Utilizar um termo *momentum*.

A inserção de um termo *momentum* na expressão de ajuste dos pesos adiciona inércia ao aprendizado, resultando em aumento da velocidade de convergência em regiões de descida da superfície de erro, uma vez que o novo ajuste será sempre adicionado a uma parcela do ajuste anterior.

O termo *momentum* é representado aqui pela equação (13), a seguir:

$$\psi = \alpha (w_{ji}(n) - w_{ji}(n - 1)) \quad (13)$$

A expressão para o ajuste de pesos utilizando o termo *momentum* pode ser descrita, de uma forma geral, pela equação (14), a seguir:

$$w_{ji}(n + 1) = w_{ji}(n) + \eta \delta_j(n) x_i(n) + \alpha (w_{ji}(n) - w_{ji}(n - 1)) \quad (14)$$

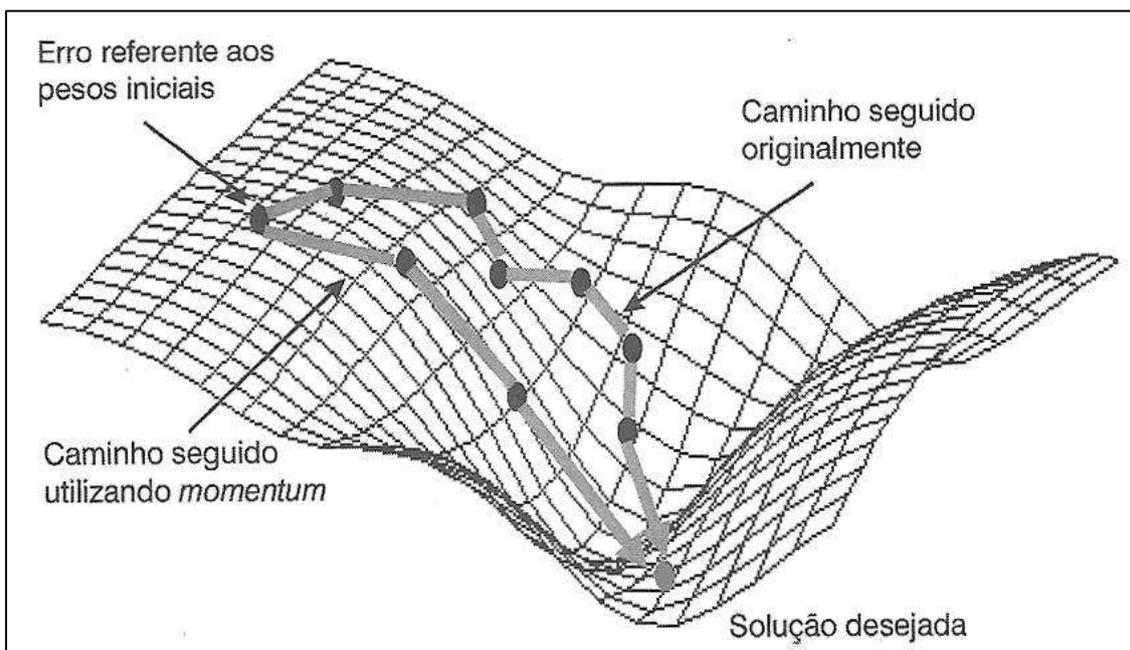


Figura 68: Influência do termo *momentum* (BRAGA, 2007).

Ainda segundo BRAGA (2007), existem variações do algoritmo *backpropagation*, cujo breve resumo é apresentado a seguir:

- a. Algoritmo Quickprop: método de segunda ordem que utiliza uma heurística baseada no método de Newton. Considera que a superfície do erro é localmente quadrática (formando uma parábola) e procura saltar da posição atual na superfície para o ponto mínimo da parábola, dessa forma, utiliza as inclinações anterior e atual do erro (informações sobre a curvatura da superfície). Neste caso, a equação (15) é utilizada para ajuste dos pesos;

$$\Delta w_{ji}(n) = \frac{\frac{\partial E}{w_{ji}}(n)}{\frac{\partial E}{w_{ji}}(n-1) - \frac{\partial E}{w_{ji}}(n)} \Delta w_{ji}(n-1) \quad (15)$$

- b. Algoritmo Rprop (do inglês *resilient backpropagation*): algoritmo de adaptação global que realiza treinamento supervisionado do tipo em lote em redes MLP. Procura eliminar a influência negativa do valor da derivada parcial na definição do ajuste dos pesos, utilizando o sinal da derivada e não o seu valor. O ajuste é dado por um “valor de atualização” Δ_{ji}^n , conforme indicado pela equação (16);

$$\Delta w_{ji}(n) = \begin{cases} -\Delta_{ji}(n), & \text{se } \frac{\partial E}{\partial w_{ji}}(n) > 0 \\ +\Delta_{ji}(n), & \text{se } \frac{\partial E}{\partial w_{ji}}(n) < 0 \\ 0, & \text{se } \frac{\partial E}{\partial w_{ji}}(n) = 0 \end{cases} \quad (16)$$

O valor de atualização Δ_{ji}^n é definido por um processo de adaptação que depende do sinal da derivada do erro com relação ao peso a ser ajustado:

$$\Delta w_{ji}(n) = \begin{cases} \eta^+ \Delta_{ji}(n-1), & \text{se } \frac{\partial E(n-1)}{\partial w_{ji}} \frac{\partial E(n)}{\partial w_{ji}} > 0 \\ \eta^- \Delta_{ji}(n-1), & \text{se } \frac{\partial E(n-1)}{\partial w_{ji}} \frac{\partial E(n)}{\partial w_{ji}} < 0 \\ \Delta_{ji}(n-1), & \text{se } \frac{\partial E}{\partial w_{ji}}(n) = 0 \end{cases} \quad (17)$$

onde $0 < \eta^- < 1 < \eta^+$.

- c. Algoritmo Levenberg-Marquardt: é uma aproximação do método Gauss-Newton⁸⁰, melhorando-o por meio da utilização de uma taxa de aprendizado variável. Quando esse algoritmo é utilizado, os pesos são ajustados de acordo com a equação (18), a seguir:

$$\Delta w_{ji}(n) = - \left[\nabla^2 E(w_{ji}(n)) + \mu I \right]^{-1} \nabla E(w_{ji}(n)) \quad (18)$$

Onde $\nabla^2 E(w_{ji}(n))$ é uma matriz Hessiana e $\nabla E(w_{ji}(n))$ é o gradiente. O parâmetro μ é multiplicado por um fator β quando um ajuste tem por objetivo o aumento de $E(w_{ji}(n))$. Quando o objetivo é reduzir o valor de $E(w_{ji}(n))$ a cada passo, μ é dividido por β . Quando é utilizado um valor grande para μ , o algoritmo se torna gradiente descendente com passo $1/\mu$. Quando é utilizado um valor baixo para μ , o algoritmo é equivalente ao algoritmo Gauss-Newton.

⁸⁰ O método de Gauss-Newton é utilizado para resolver problemas de mínimos quadrados não lineares. Pode ser visto como uma modificação do Método de Newton para encontrar o mínimo de uma função. Diferentemente do Método de Newton, o Algoritmo de Gauss-Newton apenas pode ser usado para minimizar uma soma dos valores quadrados da função, mas tem a vantagem de que as derivadas segundas não são necessárias.

4.7 PASSOS PARA A CRIAÇÃO DE SISTEMAS CONEXIONISTAS

O processo para a construção de sistemas que utilizam redes neurais artificiais inicia com a análise cuidadosa a respeito do problema. Tal análise objetiva minimizar possíveis inconsistências nos dados (pré-processamento).

Como segundo passo, tem-se a coleta de dados relativos ao problema. Os dados coletados devem ser significativos e devem, também, cobrir amplamente o domínio do problema, isto é, não devem cobrir somente as operações normais ou rotineiras, mas também as exceções e as condições pertencentes aos limites do domínio do problema.

Após ter sido realizada a coleta, os dados devem ser separados em conjunto de treinamento e conjunto de testes. Depois de determinados estes conjuntos, eles são geralmente colocados em ordem aleatória para prevenção de tendências associadas à ordem de apresentação dos dados. Além disso, pode ser necessário pré-processar esses dados, por meio de normalizações, escalonamentos e conversões de formato, de modo a torná-los mais apropriados à utilização na rede.

A próxima etapa é a definição da configuração da rede (HAYKIN, 2001), que pode ser dividido em três etapas:

- a. Seleção do paradigma neural apropriado à aplicação;
- b. Determinação da topologia da rede a ser utilizada;
- c. Determinação de parâmetros do algoritmo de treinamento e funções de ativação. Este passo tem um grande impacto no desempenho do sistema resultante.

Existem metodologias que orientam a condução destas tarefas. Normalmente estas escolhas são feitas de forma empírica e requer experiência dos projetistas.

A fase seguinte é o treinamento da rede. Nesta fase, seguindo o algoritmo de treinamento escolhido, os pesos das conexões serão ajustados. É importante considerar alguns aspectos tais como a iniciação dos parâmetros da rede⁸¹, o modo de treinamento e o tempo de treinamento.

Quanto ao modo de treinamento, o ciclo pode ser completado a cada dado do

⁸¹ Uma boa escolha dos valores iniciais dos pesos da rede pode diminuir o tempo necessário para o treinamento. Normalmente, os valores iniciais dos pesos da rede são números aleatórios.

conjunto (individual) ou após a apresentação de todos os dados do conjunto (lote). O modo individual aloca menor espaço no armazenamento de dados, além de ser menos suscetível ao problema de mínimos locais. Por outro lado, no modo “em lote” se tem uma melhor estimativa do vetor gradiente, o que torna o treinamento mais estável. A eficiência relativa dos dois modos de treinamento depende do problema que está sendo tratado.

Em relação ao tempo de treinamento, vários fatores podem influenciar a sua duração, porém sempre será necessário utilizar algum critério de parada. O critério de parada do algoritmo *backpropagation* não é bem definido, podendo ser considerado um número máximo de ciclos, taxa de erro médio, capacidade de generalização da rede ou a combinação destes critérios. Em determinado instante do treinamento, a aprendizagem começa a degenerar e a rede se especializa no conjunto de dados do treinamento, perdendo a capacidade de generalização. Este momento pode ser considerado como um outro critério para finalizar o treinamento da rede.

Deve-se interromper o treinamento quando a rede apresentar uma boa capacidade de generalização e quando a taxa de erro for suficientemente pequena, ou seja, menor que um erro admissível. Assim, deve-se encontrar um ponto ótimo de parada com erro mínimo e capacidade de generalização máxima.

Pode-se realizar o teste da rede logo após a fase de treinamento ou durante as primeiras utilizações da rede. Nessa fase de teste da rede, o conjunto de teste é utilizado para avaliar o desempenho da rede com dados que não foram previamente utilizados. Lembrando que o desempenho avaliado nesta fase é uma boa indicação de seu comportamento real.

CAPÍTULO 5: SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES

*"Nunca ande pelo caminho traçado, pois
ele conduz somente até onde os outros foram."*

(Alexandre Graham Bell)

5.1 INTRODUÇÃO

Conforme mencionado anteriormente, o uso de recursos de tecnologia na educação, não é algo novo ou que tenha surgido recentemente. Desde meados de 1950, diversas pesquisas têm sido realizadas nesta área. Tais pesquisas vêm ampliando as possibilidades e formas de se utilizar computadores para auxiliar na área de educação (GARRISON, 1985).

Entre os diversos recursos tecnológicos aplicados à educação, existem programas (*softwares*) específicos voltados ao ensino. No presente capítulo será abordado o assunto “Sistemas Tutores Inteligentes”, objetivando elucidar tal tema.

Os sistemas tutores inteligentes⁸² (também conhecidos como STIs) são programas de computador com propósitos educacionais e que incorporam diversas abordagens e técnicas de aprendizagem de máquina (EBERSPÄCHER, 1998).

Este capítulo apresenta, na Seção 5.2, um breve histórico, mostrando a evolução dos sistemas de instrução baseados em plataforma computacional. Na Seção 5.3 é realizada uma abordagem sobre os sistemas tutores, exibindo uma classificação dos sistemas tutores e suas principais estruturas. Ainda nesta seção serão abordados os sistemas tutores que utilizam computador, os que utilizam IA simbólica baseada em agentes, e IA conexionista baseada em redes neurais artificiais.

⁸² Considera-se como “sistema tutor inteligente”, todo o sistema cujo comportamento tentar se assemelhar ao comportamento de um tutor humano, ou seja, oferecer um ensino adaptativo, flexível e personalizado, entre outras características.

5.2 HISTÓRICO

A construção de Sistemas de Instrução Assistida por Computador (*CAI – Computer Aided Instruction*) foi o primeiro o passo da história dos STIs. Tais sistemas eram vistos como simples “programas lineares”, e eram influenciados por teorias Behavioristas⁸³ (SKINNER, 1968).

Por volta de 1950, apareceram os primeiros sistemas de ensino auxiliados por computador. Esses sistemas eram caracterizados por apresentar o conhecimento de forma linear, isto é, nenhum fator podia mudar a ordem de ensino estabelecida (determinada pelo projeto do sistema e pelo programador). Com esses sistemas, durante sessão de ensino, não se levava em consideração o erro do aprendiz⁸⁴. Acreditava-se que quando uma operação era seguida por um estímulo de reforço, a força da ação era aumentada (GIRAFFA, 1995).

Nos primeiros sistemas de instrução assistida por computador, o conteúdo era exibido através de textos, e pressupunha-se que o conteúdo até aquele ponto havia sido aprendido. Eram apresentadas questões e o aprendiz então, dava algum tipo de resposta baseada no que já conhecia ou por tentativa e erro. Finalmente o programa informava ao aprendiz se ele havia acertado ou não. Esta ordem pré-definida de passos é que tornou tais sistemas conhecidos por “programas lineares”.

Na abordagem dos programas lineares, os CAIs somente apresentavam o conteúdo, não motivando o aprendizado evolutivo do aprendiz frente ao programa de computador (PARK,1987). Com isso, o aluno seguia uma sequência finita e pré-estabelecida de passos, não estimulando o raciocínio frente a diferentes situações. No entanto, a partir de 1960, começou-se a considerar que as respostas dos aprendizes podiam ser usadas para controlar o material de estudo. Considerando, também, que se os aprendizes tivessem acesso ao seu esquema de resolução pessoal, eles tomariam consciência de seu próprio modo de tentar resolver problemas, viabilizando a descoberta de uma sistemática de solução (PARK, 1988).

⁸³ A Teoria Behaviorista diz que as pessoas funcionam por estímulos e que, a um estímulo corresponde igual resposta. Por esta razão, não se devia permitir que os alunos cometessem erros, já que estes lhe dariam um reforço negativo.

⁸⁴ Refere-se a aprendiz como estudante, aluno ou tutorado.

Os sucessores dos programas lineares no campo do ensino assistido por computador foram os “programas ramificados”. Tais sistemas eram mais adequados por apresentarem um retorno ao aluno. Eles possuíam um número fixo de temas, semelhantes aos programas lineares, mas seu diferencial era a capacidade de atuar de acordo com a resposta do aluno. Durante esta década, a maioria das aplicações educacionais usando computadores adotava o padrão de instrução programada e seu enfoque era centrado no professor, ou seja, o aluno deveria compreender a lição passada pelo professor para posteriormente responder alguma questão relativa ao conteúdo previamente passado.

No período entre 1960 e 1970 surgiram os sistemas adaptativos. Sistemas capazes de elaborar um problema de acordo com o nível de conhecimento do aprendiz, construir sua solução e diagnosticar. Tais sistemas foram associados a uma nova filosofia educacional que defende que os alunos aprendem melhor quando enfrentam problemas de dificuldade adequada, do que entendendo as explicações sistemáticas. Nesse sistema, o ensino é adaptado ao aprendiz.

A partir de 1970, a área educacional tentou se aliar aos recursos computacionais, para produzir um meio de ensino eletrônico, que possibilitaria ao aluno aprender por si mesmo, utilizando os recursos disponíveis nos computadores.

Houve uma reformulação nos sistemas do tipo CAI, com o uso de técnicas de Inteligência Artificial. Os sistemas passaram ser chamados de ICAI (*Intelligent Computer Assisted Instruction* - Instrução Inteligente Auxiliada por Computador) e depois de ITS (*Intelligent Tutoring Systems* ou STI-Sistemas Tutores Inteligentes), permitindo assim uma maior flexibilidade e participação ativa do aluno e do sistema, o que resultou num ambiente cooperativo para o ensino-aprendizagem. Nesse contexto, pela modelagem do estudante, os sistemas podem personalizar a instrução, tornando a apresentação apropriada seu ao nível de conhecimento e compatível com o seu modo de aprendizagem. Portanto, o aluno passa a ser o centro do processo ensino-aprendizagem, deixando de ser passivo. Além de passar a protagonista no processo, o aprendiz tem seu conhecimento atual e suas características de aprendizado levados em conta no STI.

Os Sistemas Tutores Inteligentes estão em um campo de pesquisa e desenvolvimento interdisciplinar, ou seja, envolvem áreas diversas como Educação, Psicologia e Computação. Desde meados de 1980, paradigmas de instrução têm surgido,

refletindo as várias mudanças de ênfase na educação. O desenvolvimento de micromundos e ambientes de aprendizado interativos constituem manifestações das mudanças de enfoque da IAED (Inteligência Artificial Aplicada à Educação).

Nos estudos atuais sobre STIs uma das questões principais é como torná-los capazes de se adaptarem às características de cada aluno, com o objetivo de executar o processo de ensino-aprendizagem de forma individualizada e mais eficaz. Para tanto, os STIs devem permitir descentralização das atividades, múltiplas representações do conhecimento, múltiplas estratégias, aprendizagem colaborativa e detecção do estado motivacional e afetivo do aluno.

As pesquisas mais recentes têm enfatizado a necessidade de incorporação em STI de aspectos que permitam o monitoramento de habilidades metacognitivas (o conhecimento sobre o próprio conhecimento) e também de fatores motivacionais e afetivos do aluno: como o aluno aprende e o que impede a aprendizagem. A ideia é permitir ao aluno ter um papel mais ativo e crítico no processo de ensino-aprendizagem.

5.3 SISTEMAS TUTORES

Os sistemas tutores podem ser divididos em: tutor, tutelado e ferramenta, conforme TAYLOR (1980). LUCENA (1994) considera que devido ao avanço de recursos de hardware e de software e inclusão de novas tecnologias, esta classificação pode ser ampliada para tutor, tutelado, ferramenta, exercício e prática, simulação e jogos educativos, conforme detalhado a seguir.

GONZAGA (2004) descreve o “Tutor Inteligente” como um tipo de programa em que o computador assume o papel de um “professor”. Dessa forma, o programa apresenta os conceitos ao aluno, oferecendo níveis diferenciados de acordo com avaliações das respostas dele obtidas do aprendiz. Segundo GIRAFFA (1995), nesta modalidade encontram-se alguns sistemas CAI, onde o modelo de ensino-aprendizagem é baseado unicamente em instrução programada, com apoio na teoria comportamentalista de Skinner (SKINNER, 1982).

No modelo tutelado, o aluno é exposto a uma linguagem de programação, LOGO, por exemplo, e deve utilizar a linguagem para programar um computador.

A ferramenta é um programa que se aplica à resolução de tarefas comuns. Tais

tarefas podem se apresentar como edição de textos, construção de gráficos, dentre outras. É uma ferramenta aplicativo (aplicação), utilizada como um auxiliar no processo de ensino-aprendizagem. Os *softwares* utilizados como aplicativos podem ser: editores de textos, planilhas eletrônicas, programas gráficos, programas de multimídia, programas de navegação na Internet, entre outros.

No modelo exercício e prática, a formação do estudante é considerada na geração dos exercícios pelo computador. A finalidade deste modelo é testar e fixar o conhecimento em áreas específicas.

Em simulação, o computador é utilizado para imitar (simular) um sistema real ou mesmo um sistema imaginário.

No modelo jogos educativos, o computador é utilizado de forma lúdica, para conduzir o desenvolvimento do aluno em um determinado ramo do conhecimento.

5.4 PRINCIPAIS ESTRUTURAS PARA SISTEMAS TUTORES

Antes de se apresentar os Sistemas Tutores Inteligentes, é importante conhecer as diferentes estruturas de tutores utilizadas.

5.4.1 TUTORIAL CLÁSSICO

Utilizando esta estrutura, os alunos começam por uma introdução e prosseguem por várias lições que ensinam, progressivamente, conceitos mais avançados. No final da série, os alunos encontram um resumo e uma atividade com o objetivo de avaliar a aprendizagem.

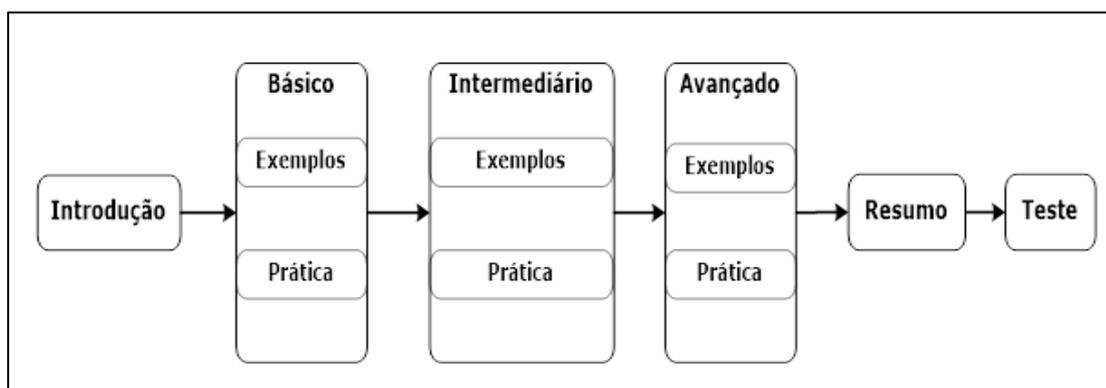


Figura 69: Estrutura de um tutorial clássico.

5.4.2 TUTORIAL FOCADO EM ATIVIDADES

Este tipo de tutorial (tutorial focado em atividades) é desenvolvido em torno de uma atividade primária, para a qual o aluno é preparado por uma breve introdução. A lição de preparação apresenta qualquer informação necessária ou uma motivação não contida na atividade. Posteriormente, o aluno encontra um resumo, cujo objetivo é reforçar o que ele aprendeu ao executar sistema tutor. Finalmente, o aluno passa por uma atividade de avaliação da aprendizagem. A estrutura do tutorial focado em atividades pode ser vista na figura a seguir.

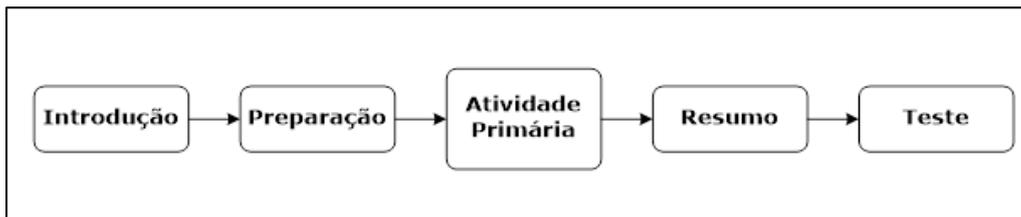


Figura 70: Estrutura de um tutorial focado em atividades

5.4.3 TUTORIAL CUSTOMIZADO PELO ALUNO

De forma semelhante aos tutoriais apresentados anteriormente, no modelo de tutorial customizado, o aluno passa pelos módulos de introdução, resumo e teste. Entretanto, entre os módulos de introdução e o resumo existem de opções de navegação e módulos de conteúdo.

Os módulos de opções apresentam uma lista de caminhos que o aluno pode escolher seguir, conforme seu conhecimento ou seu interesse no tópico, permitindo que ele decida o próximo passo. Desta forma, o aluno recebe uma experiência de aprendizagem customizada às suas necessidades.

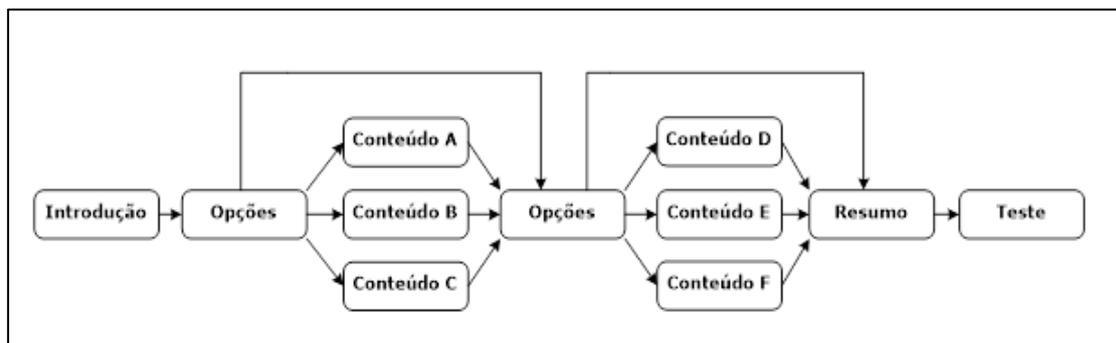


Figura 71: Estrutura de um tutorial customizado

5.4.4 TUTORIAL DE AVANÇO POR CONHECIMENTO

No tutorial de avanço por conhecimento, o aluno pode acessar diretamente o tópico mais apropriado ao seu nível de suas habilidades. Nessa estrutura de tutorial, o nível de conhecimento do estudante é aferido por uma avaliação prévia. Após a introdução, o aluno inicia uma sequência de testes. À medida que o aluno avança no tutorial, os testes passam a exigir um nível de conhecimento cada vez maior em relação ao teste anterior. A sequência é seguida até que uma resposta incorreta seja apresentada ao teste proposto em determinado nível. A partir desse ponto, o aprendiz é conduzido para o tópico de seu nível e continua até o final do tutorial, conforme a figura abaixo.

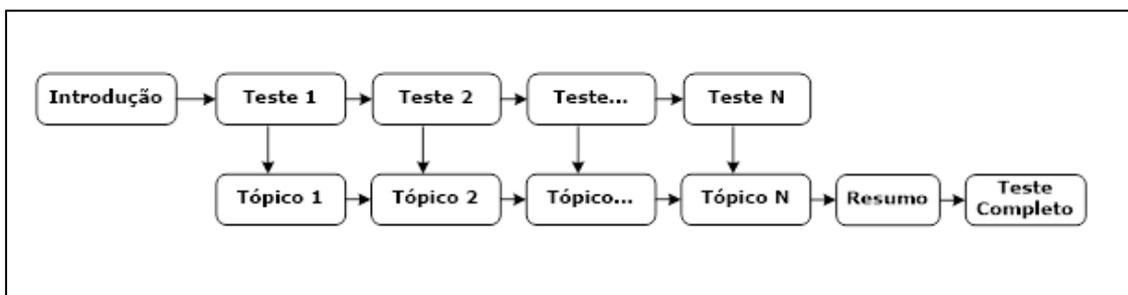


Figura 72: Estrutura do tutorial de avanço por conhecimento

5.4.5 TUTORIAL EXPLORATÓRIO

No sistema tutorial exploratório, o aluno explora o sistema em busca do conhecimento até chegar à meta estabelecida pelo sistema.

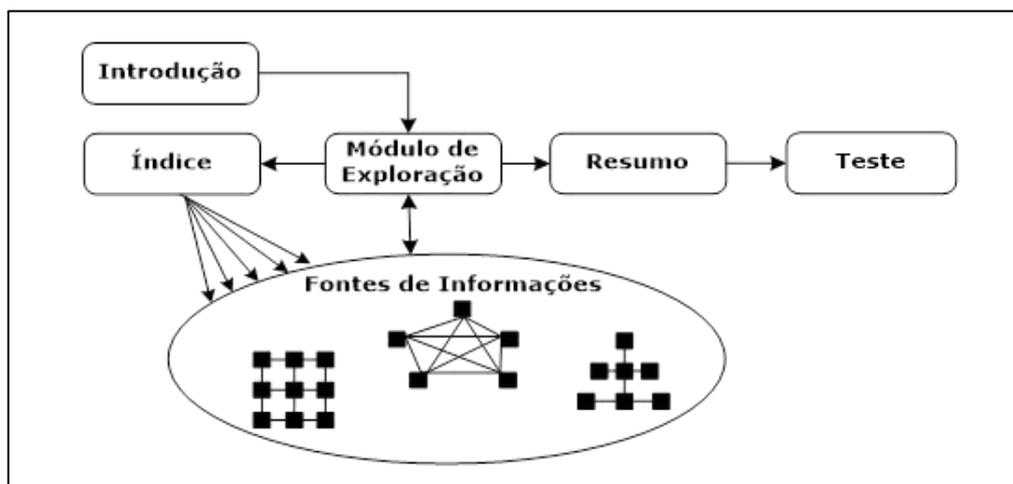


Figura 73: Estrutura do tutorial exploratório

Como pode ser visto ver na figura anterior, o sistema fornece uma coleção de ferramentas como fonte de informação (conjunto de documentos em formato eletrônico,

sistemas de bancos de dados entre outras).

Após a introdução, o aluno é conduzido para o módulo inicial de exploração, buscando atingir a meta de conhecimento fornecida. No final, passa por um módulo de resumo e faz uma avaliação da aprendizagem através de um teste.

5.4.6 TUTORIAL GERADOR DE LIÇÕES

Um tutorial gerador de lições funciona da seguinte maneira: após a introdução, o aluno passa por um teste de conhecimento, cujo resultado do teste irá determinar a sequência de tópicos a ser exibida, tornando-se um tutorial personalizado. Desta forma, o tutorial atende o aluno em suas necessidades imediatas de conhecimento.

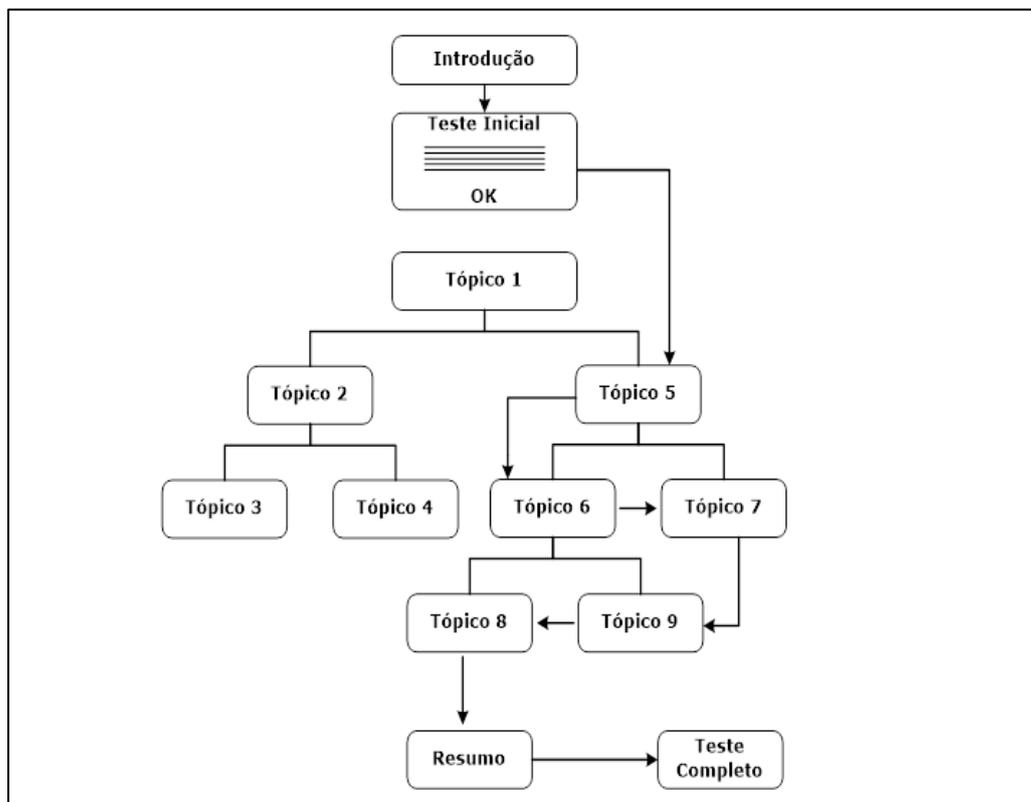


Figura 74: Estrutura do tutorial gerador de lições

5.5 SISTEMAS TUTORES UTILIZANDO COMPUTADOR

Visto que são inúmeras as possibilidades para o uso de computadores com o intuito de auxiliar no processo de ensino, vários programas de computador são desenvolvidos com o propósito de colaborar na tarefa de tutoria. É certo que qualquer programa pode ser adotado para esse fim, desde que uma metodologia adequada seja

utilizada (GIRAFFA, 1997). Essa metodologia poderá ser desenvolvida em um dos dois modelos de sistemas educacionais computadorizados apresentados anteriormente: o Modelo CAI (*Computer Aided Instruction* – Instrução Assistida por Computador) ou o Modelo ITS (*Intelligent Tutoring Systems* – Sistemas Tutores Inteligentes).

O Modelo CAI surgiu baseado no paradigma da Instrução Programada (IP) (SKINNER, 1968). Alguns críticos da IP a interpretam erroneamente afirmando que ela é um método educacional “centrado no agente transmissor”. Esta afirmação é devido ao fato de que a IP pré-determina o modo como o conteúdo será fracionado e apresentado. Portanto, a compreensão por parte do aluno terminará por ser a de quem programou o ensino, não havendo possibilidade de compreensão criativa. As afirmações citadas anteriormente são equivocadas, pois não se aplicam ao paradigma da IP e nem ao pensamento de Skinner, e sim ao uso inapropriado da primeira e ao desconhecimento do segundo.

Não há indícios de um paradigma de ensino que prescindia de algum tipo de partição do conteúdo e que não cause efeitos sobre o aluno. Estes são problemas inerentes à relação ensino-aprendizagem, cuja solução científica demanda investigação conceitual e empírica competentes, sob pena de ser criada uma situação onde se afirma a existência positiva do aprender não tendo ocorrido o ensinar, quaisquer que sejam os critérios avaliativos adotados (OAKESHOTT, 1967).

Um dos principais problemas dos sistemas CAI é que eles não levam em consideração as diferenças existentes entre os alunos. A exposição do conteúdo é idêntica para todos os educandos, independente de o aluno ter um desenvolvimento melhor ou inferior ao de outro. Tais modelos possuem conteúdo previamente elaborado e consistem, basicamente, em um “virador de páginas”, isto é, uma extensão dos livros de papel, agora digitalizados. Essa foi realidade, até que se passou a utilizar técnicas de Inteligência Artificial nos sistemas CAI com o objetivo de desenvolver programas flexíveis, ou seja, com características adaptativas.

Com a utilização das técnicas de IA, os sistemas ICAI são capazes de analisar o conhecimento prévio, habilidades, os padrões de erro, o estilo e a capacidade de aprendizagem do aluno. Portanto, permitem oferecer instrução especial sobre o conceito em que o aluno está apresentando dificuldade (SAVIANI 1991).

As diferenças fundamentais entre os ICAI e os CAI tradicionais estão na forma com que os seus projetos são concebidos (GIRAFFA, 1995). Em sistemas CAI, os alunos são induzidos a uma resposta correta, baseada em estímulos previamente planejados, enquanto os sistemas ICAI buscam extrair capacidades cognitivas do aluno e utilizar estes resultados para a tomada de decisão.

Os sistemas do tipo CAI são considerados limitados, devido à sua incapacidade de manter um diálogo aberto com o aluno. Diferentemente dos sistemas ICAI que usam IA de forma a proporcionar instruções adaptadas, sejam elas no sentido ou forma de contexto, tornando-os mais flexíveis.

5.5.1 SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES

Os sistemas ICAI ou STI (Sistema Tutor Inteligente) tiveram suas origens na área da Ciência da Computação e possuem sua base teórica na Psicologia Cognitivista (Figura 75). Sua estrutura básica é subdividida em módulos, cujas sequências dependem da resposta do aluno. A estruturação do conhecimento é baseada na heurística e a modelagem do aluno tenta avaliar todas as respostas durante a interação com o sistema (CARVALHO, 2002).

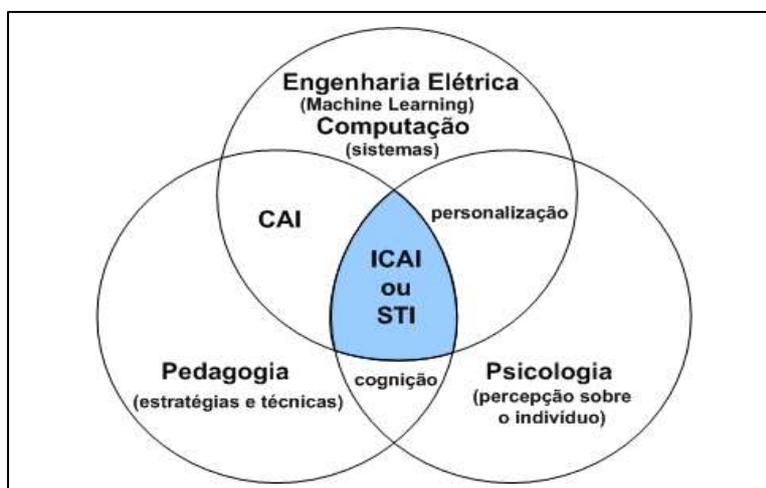


Figura 75: Domínio do conhecimento de uma aplicação STI

BLOOM (1984) descreve que em média um estudante individualmente tutorado tem um desempenho 98% melhor do que outros estudantes que receberam instrução em sala de aula. Trabalhar individualmente com um tutor especializado e, de fato, um dos meios mais efetivos de aprendizagem. Infelizmente, trata-se de uma situação utópica, pois seria necessária grande quantidade de tutores especializados.

Um Sistema Tutor Inteligente tem como principal objetivo (sendo um sistema instrucional baseado em ambiente computacional), fornecer a cada estudante uma experiência de aprendizagem similar à tutoria ideal de um-para-um (KAPLAN, 1995).

Os STIs são baseados em técnicas de Inteligência Artificial (*Machine Learning* - Aprendizado de Máquina) e possuem a habilidade de apresentar o material a ser ensinado de uma forma flexível e personalizável, provendo aos estudantes uma instrução melhorada e com possibilidade de retorno por parte do aluno (MOUNDRIDOU e VIRVOU, 2002), como vimos anteriormente.

Diversos trabalhos bem sucedidos em relação aos sistemas tutores inteligentes já foram executados (KOEDINGER, 1997), comprovando que tais sistemas são efetivos na melhoria da motivação e desempenho dos estudantes, em comparação com os métodos tradicionais de instrução.

Pode-se observar que, um sistema tutor será considerado inteligente se for flexível. A flexibilidade do tutor significa capacidade para aprender o meio e atualizar o seu conhecimento (VICCARI, 1989). Nesse tipo de programa de computador o aluno aprende fazendo e, igualmente, o sistema se adapta ao desenvolvimento do aluno. Assim, os Sistemas Tutores Inteligentes deveriam desempenhar o papel próximo de um “professor humano”. Mas, devido às inúmeras limitações, tanto em programas de computador quanto no nível dos próprios computadores (máquinas), isso está longe de acontecer. Os seres humanos possuem a habilidade de trabalhar com vários aspectos referentes a sentidos como olfato, tato, visão, entre outros, analisando as respostas de determinados estímulos. Isso ainda é inviável do ponto de vista tecnológico.

Para JONASSEN (1993), um STI deve passar em três testes antes de ser considerado “inteligente”:

- a. O conteúdo do tema ou especialidade deve ser codificado de modo que o sistema possa acessar as informações, fazer inferências ou resolver problemas;
- b. O sistema deve ser capaz de avaliar a aquisição desse conhecimento pelo estudante;

- c. As estratégias do tutor devem ser projetadas para reduzir a discrepância entre o conhecimento do especialista e o conhecimento do estudante.

As arquiteturas de sistemas tutores inteligentes variam de uma implementação para outra. No entanto, segundo GIRAFFA (1999), os STIs possuem uma estrutura modular, em que cada módulo desempenha uma função específica e se mantém em sincronia com os demais.

A estrutura clássica de um STI, segundo GIRAFFA (1999), é composta pelos módulos: Usuário, Interface, Controle, Base de Domínio, Modelo do Aluno e Estratégia de Ensino. A Figura 76 ilustra a relação entre os módulos.

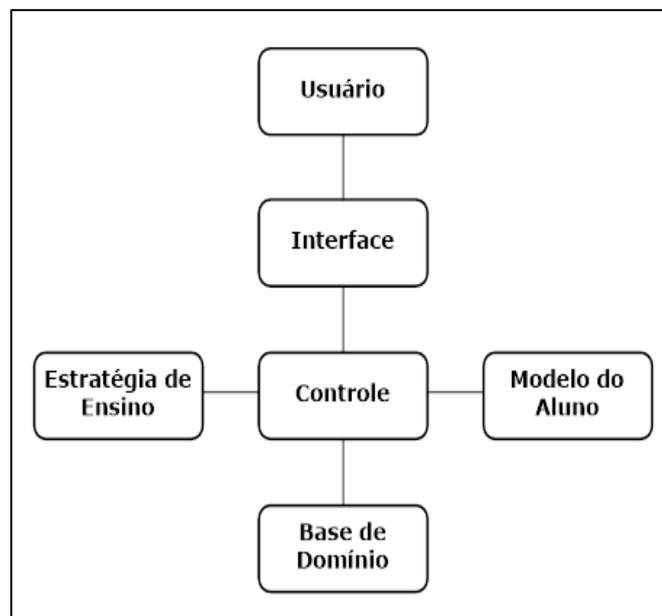


Figura 76: Arquitetura clássica de um STI (GIRAFFA, 1999)

O módulo do usuário é responsável pelo cadastro do aprendiz, permitindo ao sistema receber informações que diferenciem e ajudem a definir o perfil dos estudantes.

O módulo de interface é o módulo responsável pela apresentação do material instrucional e pela manipulação do progresso do estudante, apela da recepção da resposta do aluno. Para esse contexto, GIRAFFA (1995) menciona:

- a. Agradabilidade: é necessário evitar que o estudante fique entediado, ou seja, é preciso riqueza de recursos na apresentação do material instrucional;

- b. Facilidade: é desejável que haja facilidade para troca da iniciativa do diálogo. O estudante deve ter a possibilidade de intervir facilmente no discurso do tutor, e vice-versa;
- c. Tempo de resposta: o tempo de resposta deve, evidentemente, permanecer dentro de limites aceitáveis;
- d. Monitoração: a monitoração deve ser realizada, o máximo possível, em um “plano de fundo” (*background*), para não onerar o estudante com questionários excessivos, mas respeitando também a barreira do tempo e de resposta.

De um modo geral, podemos afirmar que o usuário tem a concepção de que a interface é o próprio sistema. Com isso, fica evidente que atenção especial deve ser dispensada neste sentido. Isto é, a interface deverá ser simples, amigável, intuitiva e de fácil navegação.

Para sistemas educativos, a importância de uma interface de usuário de qualidade é crucial, pois além de propiciar o contato do aluno com o conteúdo (da mesma forma que o professor humano é mediador/facilitador do contato entre o aluno e o conhecimento), a interface deve continuamente estimulá-lo.

O módulo de controle possui funções tais como: acesso a banco de dados, manutenção do histórico da sessão do usuário e comunicação com outros programas utilitários que façam parte do STI, sendo, também, o responsável pela coordenação geral do tutor.

As seguintes ações são desenvolvidas pelo módulo de controle no ciclo de execução:

- a. Coletar a informação do aluno;
- b. Selecionar uma estratégia de ensino do módulo de estratégias de ensino;
- c. Selecionar um material instrucional da base de conhecimentos do domínio, baseado na estratégia de ensino;
- d. Apresentar o material para o estudante através do módulo de interface;

- e. Diagnosticar o comportamento do aluno, a partir de suas respostas, monitorando seu progresso, lendo ou atualizando o modelo do aluno e reiniciando o ciclo.

A base de domínio é o componente que age como o especialista e desempenha a função de fonte de conhecimento a ser apresentado. Ela é considerada como um padrão para as avaliações de desempenho do estudante. A base de domínio é constituída pelo material instrucional, por um sistema de geração de exemplos, por processos de simulação e pela possibilidade de formulação de diagnósticos (GIRAFFA, 1997). Em essência, este modelo incorpora a maior parte da “inteligência” do sistema na forma do conhecimento necessário para solucionar problemas do domínio (PARK 1988). O grande desafio é fornecer uma rica representação desse domínio, de forma que possibilite flexibilidade no ensino.

O modelo do aluno representa o conhecimento e as habilidades cognitivas do aprendiz em um dado momento. Importante ressaltar que o conhecimento do sistema sobre seu usuário proporcionará um ensino personalizado e inteligente. Do ponto de vista do sistema, este conhecimento pode representar da parte do aluno:

- a. O conhecimento sobre o domínio e domínios afins;
- b. O desconhecimento sobre o domínio;
- c. O conhecimento errôneo sobre o domínio;
- d. O pensamento a respeito do domínio.

Existe um processo de diagnóstico e que é considerado um dos aspectos mais importantes de um sistema tutor, pois direciona as estratégias de ensino.

As estratégias de ensino constituem o modelo pedagógico em si e podem ser vistas como planos de apresentação do material instrucional. Deve o modelo conter o conhecimento necessário para a tomada de decisões sobre quais táticas de ensino empregar. Tais estratégias dependem essencialmente das teorias de ensino-aprendizagem, nas quais elas se baseiam ou norteiam. Especificamente, a referida dependência ocorre pela didática associada ou pelas técnicas de ensino geradas ou adotadas pela teoria selecionada (HOLLAND, 1961).

A construção dessas estratégias de ensino é bastante complexa. Exige bastante versatilidade do sistema, pois as decisões devem ser tomadas dinamicamente, tendo

como base as atitudes e necessidades do aluno.

Em seus estudos, ALENCAR (2000) apresenta outro tipo de construção de STI, considerando uma abordagem de sistema cooperativo multiagentes, baseado em IA simbólica.

Não existe uma definição fácil e precisa para explicar um “agente” no contexto da Inteligência Artificial. Pode-se dizer que são entidades capazes de apresentar algumas habilidades assemelhadas à inteligência humana e, em geral, funcionam contínua e autonomamente em um ambiente no qual existem outros processos e agentes (CORREA, 1994).

Agentes constituídos sobre IA simbólica também podem ser entendidos como entidades às quais se atribuem estados, denominados de “estados mentais”, que usualmente podem ser crenças, decisões, capacidades, objetivos, intenções, compromissos e expectativas, conceitos análogos ou similares aos humanos (SHOHAM, 1993).

Em um sistema tutor pode haver diversos agentes, cada um com sua função específica. Os agentes podem atuar, por exemplo, modelando o aluno, modelando sistema tutor e/ou modelando a base de conhecimento. E é a interação de tais agentes que determina o comportamento “inteligente” do sistema tutor.

5.5.2 SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES HÍBRIDOS

Sistemas Tutores Inteligentes podem apresentar característica híbrida, combinando IA conexionista com IA especialista (simbólica). GIRAFFA (1995) apresenta um comparativo entre essas duas modalidades (Quadro 3).

Quadro 3: Comparação de IA Conexionista x IA Simbólica (GIRAFFA, 1995)

	IA Conexionista	IA Simbólica
Busca	Processamento paralelo.	Travessia de espaços. Busca produzir uma descrição consistente com todos os exemplos positivos, mas com nenhum exemplo positivo do conjunto de treino.
Representação do conhecimento	Número grande de conexões valoradas, com forças usando valores reais.	Lógica de predicados, redes semânticas, frames, scripts, etc., ou seja, modelos simbólicos.
Aprendizagem	Retroprogramação, máquinas de Boltzmann, aprendizagem por reforço, aprendizagem não-supervisionada.	Macro-operadores, espaço de versões, aprendizagem baseada em explicações, descoberta.

Como apresentado anteriormente (Capítulo 4), as redes neurais se baseiam na metáfora computacional do cérebro. GIRAFFA (1995) menciona que essas redes se caracterizam por:

- a. Serem constituídas de um grande número de elementos de processamento muito simples (parecidos com os neurônios);
- b. Possuir um grande número de conexões ponderadas entre os elementos (os pesos das conexões codificam o conhecimento de uma rede);
- c. Oferecer um controle altamente distribuído e paralelo;
- d. Apresentar ênfase na aprendizagem automática de representações internas.

Algumas pesquisas já foram desenvolvidas com o objetivo de aplicar Redes Neurais Artificiais em Sistemas Tutores Inteligentes. ALENCAR (2000) demonstrou com sucesso a capacidade de uma RNA encontrar padrões que poderiam ser utilizados na navegação de um sistema tutor inteligente. Em sua demonstração, ALENCAR (2000) utilizou o modelo Perceptron de Múltiplas Camadas, como modelo de rede neural artificial.

CARVALHO (2002) evoluiu o trabalho de ALENCAR (2000), desenvolvendo e analisando os resultados em uma estrutura de sistemas tutores conexionistas⁸⁵. Na estrutura proposta, o conteúdo é dividido em vários tópicos ou contextos, sendo cada contexto subdividido em cinco níveis: 1-Facilitado; 2-Médio; 3-Avançado; 4-Perguntas e Respostas (FAQ); 5-Exemplos. A estrutura do modelo proposto (CARVALHO, 2002) pode ser vista na Figura 77.

No STI de CARVALHO (2002), a entrada em cada contexto ocorre através do nível médio. Um teste é realizado ao final de cada nível. Após o teste o aprendiz é encaminhado para qualquer um dos níveis restantes ou para o próximo contexto, por meio do navegador. O navegador pode ser livre ou guiado. O aprendiz escolhe, no navegador livre, por onde quer prosseguir. Já no navegador guiado, a decisão cabe à rede neural específica de cada nível de cada contexto, atuando após o resultado do teste.

⁸⁵ CARVALHO (2002) utilizou Mapa de Kohonen (KOHONEN, 1997) (redes auto-organizáveis) como modelo de rede neural artificial.

No modelo conexionista de CARVALHO (2002), após a formatação do conteúdo em contextos e níveis, é realizada uma coleta de dados com navegações livres, ou seja, o destino é, conforme mencionado antes, escolhido pelo aprendiz. Os dados de registro dessas navegações são utilizados para que as melhores formas de navegações sejam selecionadas, levando-se em conta o desempenho do aprendiz, tendo-se como critério a melhoria do desempenho entre o teste inicial (pré-teste) e o teste final (pós-teste). Após a seleção dos melhores resultados, uma rede neural artificial específica é treinada para cada nível de cada contexto. Para uma sessão tutorial de 10 contextos, são necessárias 50 redes neurais distintas.

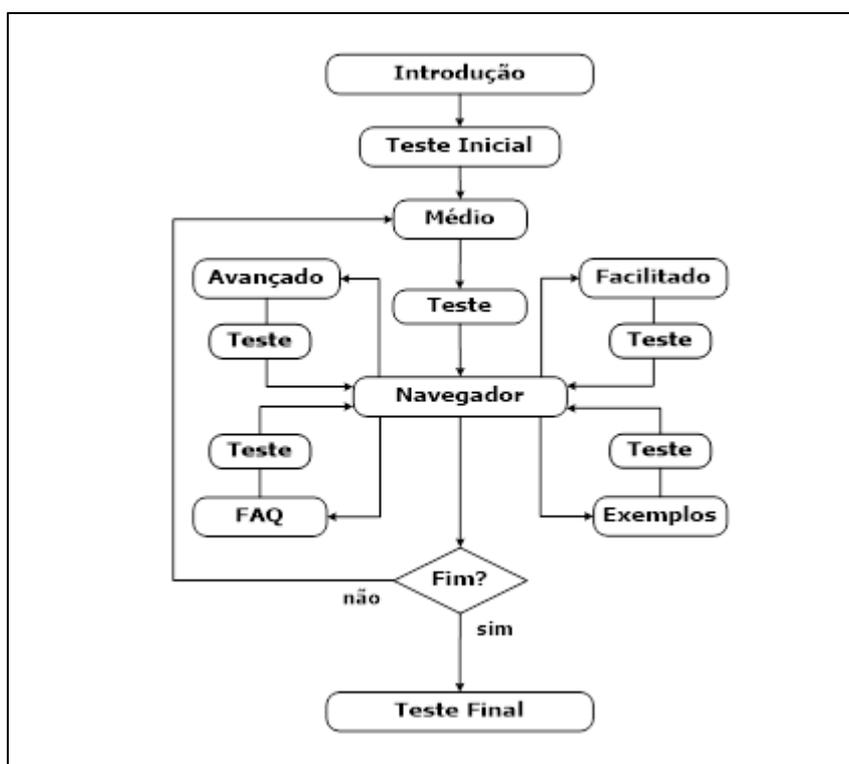


Figura 77: A estrutura do STI de Carvalho (CARVALHO, 2002)

Embora o modelo de sistema tutor de CARVALHO (2002) tenha apresentado resultados muito positivos, existe a dependência da formatação do conteúdo, o que acaba impedindo um desenvolvimento mais dinâmico de novos tutoriais. Em outras palavras, qualquer alteração nessa formatação implica a necessidade de novas navegações livres e treinamento de todas as redes neurais envolvidas, além de possível inclusão de novas redes.

MEIRELES (2003), MELO (2003) e MARTINS *et al.* (2003) apresentam uma proposta diferenciada para a estrutura de sistema tutor inteligente conexionista,

tornando-o híbrido com a inserção de regras de sistemas especialistas para auxiliar a navegação⁸⁶.

A arquitetura do Sistema Tutor Inteligente Híbrido de, MEIRELES (2003) pode ser vista na Figura 78.

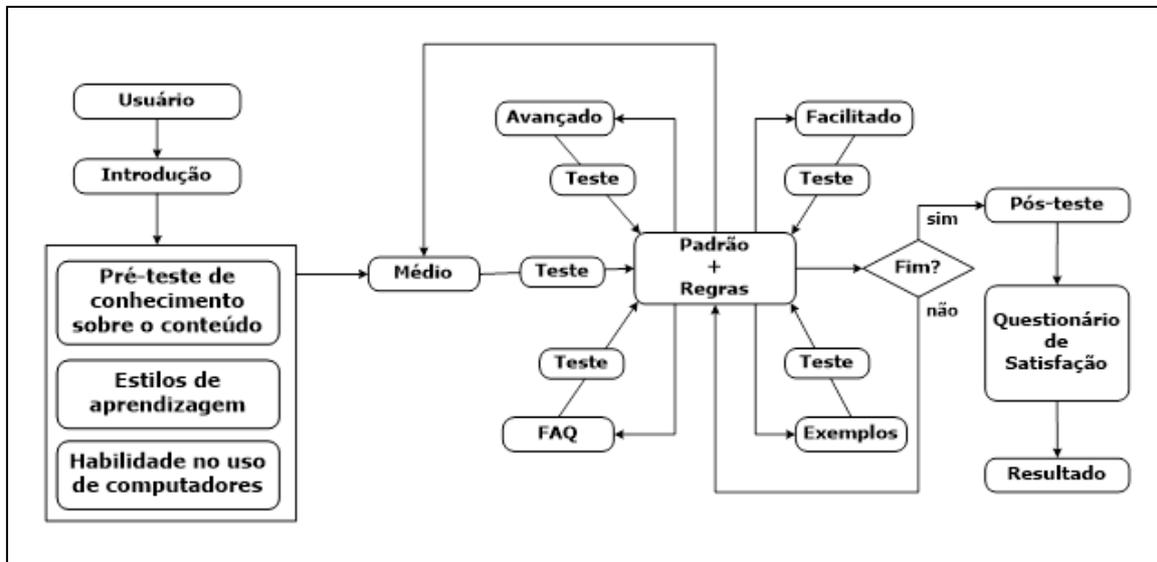


Figura 78: Estrutura do STI de MEIRELES (2003).

Observando-se a estrutura do STI Híbrido de MEIRELES (2003), tomando-se como base a arquitetura clássica de GIRAFFA (1999), apresentada pela Figura 74, tem-se:

- a. Módulo usuário: recebe os dados cadastrais do aprendiz, identificando-o posteriormente para o uso do tutor.
- b. Interface: a interface utilizada pelo tutor de MEIRELES (2003), responsável pela apresentação do conteúdo foi baseado em tecnologia de páginas *www* (*world wide web*) dinâmicas.
- c. Navegador: o navegador realiza a manutenção do histórico da sessão do usuário, acesso a banco de dados, trabalha em conjunto com dois outros módulos, o módulo do sistema

⁸⁶ As diferenças observadas nos sistemas tutores inteligentes utilizados por MEIRELES (2003) e MELO (2003) estão relacionadas à forma de diferenciação do indivíduo. Melo considera o perfil psicológico do indivíduo, enquanto Meireles opta pelo estilo de aprendizagem do indivíduo.

conexionista e o módulo do sistema especialista, o que o torna híbrido.

- c.1 - Módulo do sistema connexionista: possui a função de identificar o padrão de navegação através do perfil do aluno (perfil de navegação global do estudante) com o uso de uma rede neural artificial (RNA).
- c.2 - Módulo do sistema especialista: aplica regras simbólicas (regras probabilísticas), auxiliando na decisão da navegação.
- d. Base de Conhecimento: Assunto a ser apresentado ao aprendiz. Tendo diferenciação entre os níveis facilitado, médio, avançado, perguntas frequentes e exemplos. Nos experimentos de MEIRELES (2003), o conteúdo do tutor era apenas teórico e abordava o tema sobre introdução ao processamento de dados.
- e. Modelo do aluno: a representação do aprendiz é obtida através de suas habilidades no uso do computador, seu estilo de aprendizagem e, também, em seu conhecimento prévio do conteúdo, embora este último não afete tanto a navegação.

Embora os trabalhos baseados na estrutura de MARTINS *et al.* (2003) apresentem resultados promissores, o ensino por meio da estrutura de tais sistemas tutores ainda se baseia no modelo sequencial linear, tornando-se desinteressante com o passar do tempo. Além disso, as abordagens utilizadas para a personalização do ensino não se mostravam coerentes, na prática, com suas respectivas teorias.

CAPÍTULO 6: JOGOS DIGITAIS E APRENDIZAGEM

"Você pode descobrir mais a respeito de uma pessoa em uma hora de jogo do que num ano de conversação."

(Platão)

6.1 INTRODUÇÃO

Para que se possa entender melhor este capítulo, faz-se necessário breve explicação sobre as gerações⁸⁷ aqui comentadas. Embora haja variações nos períodos propostos, como referencial, por diferentes autores (CONGER, 1998, ENGELMANN, 2007, LOIOLA, 2009, SHIYASHIKI, 2009, SERRANO, 2010, VASCONCELOS *et al.*, 2010), entre outros, pode-se considerar que:

- a. Os *baby boomers* são as pessoas nascidas entre 1946 e 1963, aproximadamente;
- b. A geração X, pessoas nascidas entre 1964 e 1977, aproximadamente;
- c. A geração Y aquelas pessoas que nasceram entre 1978 e 1994 aproximadamente;
- d. A geração Z são de pessoas nascidas após 1994 até a atualidade.

Contudo, existem casos de pessoas que nascem em um período de classificação da geração X, porém, possuem características comportamentais da geração Y, por exemplo. Portanto, fica claro que o critério de classificação é mais bem definido pelo comportamento dos indivíduos do que por intervalos de anos (ou por faixa etária).

Após essa breve contextualização, pode-se dizer que é perceptível o fato de que as pessoas das chamadas gerações X, Y e posteriores, não se relacionam bem com os

⁸⁷ Estas classificações de gerações são bastante referenciadas pelas áreas de marketing, preocupando-se com o comportamento do consumidor, recursos humanos e gestão de pessoas, preocupando-se com a atuação no mercado de trabalho, formas de lidar com as gerações em situação de liderança e conflitos.

métodos tradicionais de ensino. Apesar da imensa evolução tecnológica que vem transformando o mundo e a sociedade, o ensino convencional tem feito muito pouco para se adaptar aos novos estilos de aprendizagem desses indivíduos, pessoas criadas com ideias e influências tão distintas das de seus professores (professores “analógicos” para aprendizes “digitais”).

PAPERT⁸⁸ (1998), diz: “A maior parte das crianças não gosta da escola não porque as tarefas são difíceis, mas porque são extremamente chatas!”. Essa percepção pode ser estendida a todas as esferas do ensino. Desde os primeiros anos de escola, nos cursos de nível superior, cursos de pós-graduação e até nos treinamentos corporativos observa-se o crescente desinteresse por parte do aprendiz.

Dentre as propostas de novos meios para atingir a melhoria do processo de ensino-aprendizagem, destaca-se a ideia de aprendizagem baseada em jogos digitais como uma forma efetiva e factível de inovar no ensino, tornando-o mais interessante ao aprendiz.

O objetivo deste capítulo é explorar o tema jogos digitais como ferramenta de ensino, levantando a importância tanto no processo de desenvolvimento do ser humano como, também, no processo de ensino-aprendizagem. Procura-se observar os aspectos cognitivos e sociais desencadeados durante o jogo, propondo uma reflexão sobre a relevância do jogo como prática pedagógica. A Seção 6.2 faz uma explanação sobre a tecnologia e o conflito entre as gerações, destacando o impacto disso no processo de ensino-aprendizagem. A Seção 6.3 apresenta a estreita relação entre jogos e aprendizagem. A Seção 6.4 apresenta jogos aplicados à educação. A Seção 6.5 aborda jogos cooperativos. A Seção 6.6 apresenta uma visão sobre jogos digitais. A Seção 6.7 apresenta, de forma sucinta, os tipos de aprendizagem através de jogos digitais. Na Seção 6.8 são abordadas algumas considerações sobre cuidados para a definição de público alvo.

6.2 TECNOLOGIA E O CONFLITO DE GERAÇÕES

Conforme apresentado anteriormente, no Capítulo 2, a perspectiva sócio-interacionista formulada por VYGOTSKY (1998) baseia-se em uma visão de

⁸⁸ Mencionado anteriormente no Capítulo 2, Seção 2.2 e, também no Capítulo 4, seções 4.3 e 4.5.

desenvolvimento das capacidades cognitivas humanas, apoiadas na concepção de um organismo ativo, no qual o conhecimento é formado de maneira gradativa, em um ambiente histórico, cuja essência é social. Para o autor, é fundamental que o ser humano faça uso de instrumentos simbólicos como complemento à atividade cognitiva. Os processos de aquisição de conhecimento dependem, em essência, das interações entre os indivíduos, especialmente entre os que empregam e dominam com maior desenvoltura as diferentes linguagens simbólicas existentes em uma cultura (professores) e os que estão principiando o domínio dessas habilidades (aprendizes).

Porém, segundo PRENSKY (2012), os professores e aprendizes de hoje pertencem a mundos distintos. Existe um choque entre o corpo de professores criados em uma geração pré-digital, educados no estilo tradicional, e um grupo de aprendizes nascidos em um mundo digital. O autor afirma que são dois grupos tão distintos na abordagem, na visão de mundo, no estilo e nas necessidades, que mal conseguem se comunicar. Consequentemente, o resultado disso é um desastre.

Ainda segundo PRENSKY (2012), qualquer pessoa pode observar que o sistema de ensino, que funcionou bem por séculos a fio, está entrando em colapso. Uma das razões de não se ter mais tanto êxito na educação e treinamento de jovens adultos, jovens e crianças (gerações X, Y e Z, respectivamente), apesar de não faltarem esforços, está no fato de se trabalhar duro para educar ou treinar uma nova geração com meios antigos, lançando mão de ferramentas que a muito deixaram de ser eficazes, reforçando a afirmação feita do primeiro parágrafo deste capítulo.

Em suas argumentações, os autores (HIMANEN, 2001, JOHNSON, 2005, GEE, 2003, MOITA, 2006) salientam a emergência de novas estruturas cognitivas de aprendizagem que passam ao largo das instituições de ensino tradicionais e, diferentemente da história recente, correm sério risco de suprimir o papel dessas instituições no processo de formação para a vida. Entretanto, não se trata de aprendizagens técnico-teóricas oferecidas pela escola/academia, mas sim de aprendizagem de raciocínios e de ideias históricas que propiciam ao aprendiz posicionar-se perante o mundo, ter iniciativas, dar opiniões, construir estratégias para solução de problemas. Segundo ARRUDA (2011), compreender como esse novo aprendiz adquire conhecimentos é um dos grandes desafios para as instituições de ensino.

A boa parte da geração dos professores de hoje acompanharam quando o homem pousou na Lua em 1969, viu a Vila Sésamo, citada anteriormente no Capítulo 2, grande experimento televisivo que iniciou sua transmissão em 1970 e mudou a forma de como as crianças percebiam o mundo a sua volta. Muitos acompanharam o salto tecnológico ocorrido no final do século XX, com o advento dos transistores e microchips. Viram os primórdios dos *videogames* como o *Pong*⁸⁹, *Space Invaders*⁹⁰. Alguns professores foram contemporâneos da criação da internet, outros já tinham sua carreira consolidada durante sua popularização, nos anos 90 (PRENSKY, 2012).



Figura 79: Tela do jogo *Pong* de 1974.



Figura 80: Tela do jogo *Space Invaders*.

As novas gerações de aprendizes nem tinham nascido quando o homem pisou na Lua em 69, não assistiram à Vila Sésamo (que comemorou seu trigésimo aniversário no ano 2000), nunca usou um telefone de discar. Alguns conheceram um *walkman* ou um *diskman*, mas a grande maioria é da era dos MP3 players (PRENSKY, 2012).

Segundo PRENSKY (2012), desde os primeiros anos de vida, os aprendizes de hoje resolvem mistérios através de jogos (*Blues Clues*, *Sherlock Holmes*)⁹¹; constroem e administram cidades (*Sim City*), parques temáticos (*Roller Coaster Tycoon*) e empresas (*Zillionaire*, *CEO*, *Risky Business*, *Start-up*)⁹²; constroem civilizações do zero (*Civilization*, *Age of Empires*); pilotam inúmeros aviões, helicópteros e tanques (*Microsoft Flight Simulator*, *Apache*, *Abrams M-1*)⁹³; lutam em combates (*Doom*,

⁸⁹ *Pong* é considerado o primeiro *videogame* comercial, surgiu em 1974. Algo como um ping-pong eletrônico em que as raquetes eram pequenas barras verticais e a bola era na verdade um quadrado.

⁹⁰ Primeiro *videogame* de verdadeiro sucesso. surgiu em 1978, como jogo arcade e teve várias versões, inclusive para consoles como o ATARI®, por exemplo.

⁹¹ Exemplos de jogos de tabuleiro que envolve pistas para investigação. O jogador que desvendar o mistério primeiro, ganha o jogo. No Brasil são famosos os jogos: *Detetive*, da Estrela® e *Scotland Yard*, da Grow®.

⁹² Exemplos de jogos que envolvem noções de administração.

⁹³ Exemplos de jogos de simulação de veículos aéreos e terrestres.

Quake, Unreal Tournament)⁹⁴; conduzem assuntos estratégicos de guerra (*Warcraft, Command and Conquer*)⁹⁵ – não só uma ou duas, mas diversas vezes e durante horas, semanas e meses.

Além dos jogos digitais, ainda pode-se citar os computadores, cada vez mais sofisticados e interativos, dispositivos móveis (*smartphones, tablets, smartwatches*), as *smart tvs* e, é claro, a internet. Ainda segundo PRENSKY (2012), para as novas gerações, nada disso é “tecnologia”. O autor ainda cita Alan Kay⁹⁶, com uma de suas célebres frases: “tecnologia só é tecnologia se tiver sido inventada depois de seu nascimento.”.



Figura 81: Alan Kay - cientista da computação

PRENSKY (2012) afirma que o mundo dessas novas gerações é assim (da mesma forma como o carro, o telefone e a televisão eram o mundo de seus pais), eles foram criados em um ambiente digital e conectado.

As “alterações mentais” ou “mudanças cognitivas” (estudadas tanto pela neurociência quanto pela psicologia) causadas pelas novas tecnologias e mídias digitais revelam uma grande variedade de novas necessidades e preferências por parte das novas gerações, especialmente na área de aprendizagem, embora não se limite a ela. O resultado disso é uma descontinuidade enorme (PRENSKY, 2012).

⁹⁴ Exemplos de jogos de combate (também chamados de “jogos de tiro em primeira pessoa”) em que os jogadores sozinhos ou em alguns casos em grupo. Quando em grupo podem escolher jogar de forma competitiva ou cooperativa.

⁹⁵ Exemplos de jogos de estratégia.

⁹⁶ Alan Curtis Kay é um cientista da computação estadunidense, nascido em 17 maio de 1940, conhecido por ter sido um dos inventores da linguagem de programação Smalltalk, e um dos pais do conceito de programação orientada a objetos, que lhe valeu o Prêmio Turing em 2003. Concebeu o laptop e a arquitetura das modernas interfaces gráficas dos computadores (GUI).

MCLUHAN⁹⁷ (1997), mesmo não tendo a oportunidade de vivenciar a explosão da Internet, entendeu essa descontinuidade, escrevendo sobre “a dor e a tristeza resultante de uma nova tecnologia”. Segundo o autor, essa dor é vivida apenas por dois grupos: - os pertencentes à tecnologia antiga e os que se encontram no “meio-termo”.

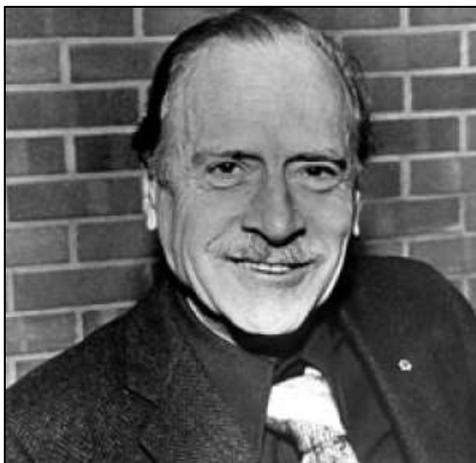


Figura 82: McLuhan - educador, intelectual, filósofo e teórico da comunicação.

Segundo MCLUHAN (1997), o grupo de pessoas da “tecnologia antiga” (pessoas que cresceram em um mundo dominado pelos materiais impressos – *baby boomers*) funciona de forma análoga a deficientes visuais que, por algum motivo, voltam a enxergar.

“... Como, no começo, eles se afastam da confusão do estímulo adicional, de vez em quando ficam com vontade de voltar à reclusão relativa do mundo em que viviam...” (MCLUHAN, 1997, p.7).

O segundo grupo é representado pelos indivíduos que estão no “meio-termo”, os mais velhos da geração X, tendo crescido com cada pé em um mundo tecnológico distinto. Costumam estar extremamente desorientados e depressivos (MCLUHAN, 1997).

Segundo PRENSKY (2012), o último grupo, as gerações mais novas que cresceram com a tecnologia (os mais novos das gerações X, a geração Y e a Z), estão

⁹⁷ Herbert Marshall McLuhan (1911 - 1980) foi um destacado educador, intelectual, filósofo e teórico da comunicação canadense. Conhecido por vislumbrar a Internet quase trinta anos antes de ser inventada e por ter cunhado o termo “Aldeia Global”. Foi um pioneiro dos estudos culturais e no estudo filosófico das transformações sociais provocadas pela revolução tecnológica do computador e das telecomunicações.

totalmente confortáveis com ela, não conhecendo outra forma de vida, e sentem-se estimulados pelas possibilidades dela advindas.

A razão de os pertencentes à geração mais antiga, orientada por materiais impressos, simplesmente “não entenderem” a tecnologia parece ser óbvio para MCLUHAN (1997).

“... o ambiente da informação e os efeitos criados pelo computador são tão inacessíveis à visão letrada quanto o mundo exterior para os deficientes visuais...” (MCLUHAN, 1997, p.7).

Em meados de 1950, um tema bastante discutido em neurociência era o amadurecimento dos neurônios do córtex cerebral durante o período crítico, nos primeiros anos de vida. Acreditava-se que a organização do cérebro não mudava muito depois disso, segundo Michael Merzenich⁹⁸, apud (PRENSKY, 2012, p. 66). Porém, com base em pesquisas científicas mais recentes da neurologia, não há mais dúvidas de que estímulos de vários tipos mudam sim as estruturas do cérebro e, conseqüentemente afetam o modo de pensar das pessoas. Essas transformações continuam ao longo da vida. Portanto, o cérebro está em constante reorganização durante toda nossa vida, da infância à vida adulta, um fenômeno tecnicamente conhecido como neuroplasticidade.

Paula Tallal⁹⁹, apud (PRENSKY, 2012), afirma: “cria-se o cérebro a partir das informações recebidas”. A partir de tal afirmação pode-se observar que, com o passar do tempo e com a evolução da tecnologia, as gerações tiveram estímulos diferentes. Os *baby boomers*, os mais velhos, tiveram apenas livros clássicos mais elaborados (leitura um tanto enfadonha, para os dias de hoje), o rádio e a televisão. A geração X, os intermediários, teve, além dos livros (agora mais técnicos ou de leitura facilitada), rádio e da televisão com os programas educativos, os primeiros ensaios de EAD (correio), os primeiros dispositivos móveis de música (*walkman* e *diskman*), os primeiros filmes de

⁹⁸ Michael M. Merzenich, nascido em 1942, é um professor emérito e neurocientista na Universidade da Califórnia, em San Francisco. Suas contribuições para a área da neurologia são numerosas. Em maio de 1999, foi homenageado por sua pesquisa sobre a plasticidade do cérebro.

⁹⁹ Paula Tallal, nascida em 1947, é uma professora de neurociência e codiretora do Centro de Neurociência Molecular e Comportamental (CMBN – *Center for Molecular and Behavioral Neuroscience*) na Universidade Rutgers em New Jersey – EUA. Participante em conselhos consultivos científicos e comissões governamentais no tocante a assuntos envolvendo dificuldades de aprendizagem e distúrbios de linguagem de desenvolvimento.

efeitos especiais práticos mais elaborados (Star Wars, Star Trek, entre outros), o computador pessoal (PC - *Personal Computer*), *videogames*, a multimídia e a hipermídia. Pessoas da geração Y, saídas da universidade e presentes no mercado de trabalho atual, tiveram livros desenvolvidos ou adaptados para sua geração, estimulando a leitura, os computadores com internet, filmes com efeitos espetaculares (imagens e sons vibrantes), acompanhados de jogos de videogame realistas e igualmente vibrantes, brinquedos que estimulam o raciocínio lógico, celulares, laptops, comunicadores de mensagem instantânea, primeiras comunidades sociais, explosão da internet e suas facilidades. A geração Z, extremamente conectada com o mundo tecnológico de hoje, com tudo que as outras tiveram.



Figura 83: Michael M. Merzenich – Neurocientista



Figura 84: Paula Tallal – Professora e pesquisadora

Naturalmente, a forma de pensar e de interagir das gerações mais recentes tornou-se igualmente diferente, graças à plasticidade de seus cérebros. Lyon, *apud* (PRENSKY, 2012, p. 67), neuropsicólogo, afirma: “... o cérebro é maleável, ele continua com a plasticidade e reações em relação ao ambiente em um grau muito mais elevado do que se imaginava no passado....”.

As pesquisas acerca da plasticidade estão sendo conduzidas por uma grande comunidade de cientistas. Em breve surgirão estratégias que levarão ao caminho da educação baseada na neurociência, afirmam Merzenich e Tallal, *apud* (PRENSKY, 2012, p. 69).

Segundo PRENSKY (2012), mais estudos sobre a forma de aprendizado são necessários. O que existe, por hora, são apenas suposições sobre o modo de processar informações. Enquanto as gerações mais antigas processam as informações de forma

linear e com total atenção a uma única coisa, as gerações mais novas acessam a informação de forma aleatória, processando-a em paralelo (fazem a lição ou trabalham, ouvindo música e vendo gráficos...). Segundo o autor, há críticas por parte dos mais velhos em relação ao período de atenção “mais curto” dos mais novos. Porém, observa-se que a atenção do jovem não é curta quando, em frente ao computador, desenvolve uma conversa, joga videogame, lê algo de seu interesse ou assiste a um filme. Em outras palavras, o jovem foca naquilo que é interessante para ele.

PRENSKY (2012) faz a relação das principais diferenças entre as gerações e que agravam ainda mais o problema da comunicação entre elas:

- a. Velocidade de *twitch*¹⁰⁰ X velocidade convencional;
- b. Processamento paralelo X processamento linear;
- c. Primeiro gráfico X primeiro texto;
- d. Acesso aleatório X passo a passo;
- e. Conectado X autônomo;
- f. Ativo X passivo;
- g. Trabalho como entretenimento X trabalho sério;
- h. Recompensa X paciência;
- i. Fantasia X realidade;
- j. Tecnologia como aliada X tecnologia como “inimiga”.

Segundo Winn¹⁰¹, apud (PRENSKY, 2012), as crianças criadas com o computador pensam de forma diferente. Elas desenvolvem mentes em hipertexto, se movimentam rápido e é como se suas estruturas cognitivas fossem paralelas e não sequenciais.

Peter Moore, apud (PRENSKY, 2012), editor do informativo da área de Recursos Humanos “*Inferencial Focus*”¹⁰², relata que os jovens de hoje utilizam partes diferentes do cérebro e pensam diferente dos adultos quando estão ao computador. O autor salienta, ainda, que o cérebro deles é de fato fisiologicamente diferente. Contudo, a

¹⁰⁰ Forma como o autor faz referência a velocidade rápida de entendimento e de resposta das gerações mais novas.

¹⁰¹ William D. Winn, professor, diretor do Centro de Aprendizagem do Laboratório de Tecnologia de Interface Humana da Universidade de Washington (HITL –Human Interface Technology Laboratory).

¹⁰² Peter Moore, *Inferencial Focus Briefing*, 30/09/1997.

maior parte dos observadores concorda que essas diferenças são mais uma questão de grau do que de tipo e, como resultado de experiências repetidas, certas áreas do cérebro se tornam mais desenvolvidas, enquanto outras se desenvolvem menos.

GREENFIELD ¹⁰³ (1984) publicou diversos estudos relacionados aos efeitos de diferentes mídias sobre a mente dos jovens. Dentre as mídias observadas, o *videogame*. A autora relata que as habilidades desenvolvidas jogando *videogames* vão muito além da habilidade de coordenação entre mãos e olhos (citada com maior frequência):

“... Os videogames são os primeiros exemplos de tecnologia computacional com efeito socializante da próxima geração, atingindo as massas, até mesmo em escala mundial...”
(Greenfield, 1984).

Ao que parece, as pessoas da geração da televisão, computadores e dos jogos digitais possuem habilidades mais desenvolvidas em representação icônica do que uma pessoa cuja socialização completa se dava por meios mais tradicionais, como materiais impressos e o rádio. Pode ser que o *videogame* e o computador, ao acrescentarem a dimensão da interatividade à televisão, estejam criando pessoas com habilidades especiais em descobrir regras e padrões por meio de um processo mais ativo e interativo de tentativa e erro (GREENFIELD, 1984).

Dentre as descobertas de GREENFIELD (1984), pode-se citar:

- a. Jogos digitais aumentam a desenvoltura da leitura de imagens visuais como representações do espaço tridimensional (competência representacional). Essa é a combinação de diversas competências, incluindo a parceria com o computador na construção da representação, usando-se o controle (ou outro que não o *joystick*) como uma ferramenta representacional “distanciada”, trabalhando em tempo real na constituição de mapas mentais e habilidades espaço-visuais e multidimensionais.

¹⁰³ Patricia Marks Greenfield é professora de psicologia da Universidade da Califórnia – Los Angeles. Estuda a bastante tempo o efeito da mídia sobre a socialização e o desenvolvimento cognitivo. É considerada uma das pioneiras no estudo sobre o efeito de videogames nos jogadores.

- b. A habilidade com jogos de computador aprimora outras habilidades de pensamento (como a de fazer dobraduras mentalmente, isto é, imaginar o resultado de várias dobraduras como o *origami*¹⁰⁴ sem ter necessariamente ter que fazê-las). Habilidade cumulativa após algumas horas de jogo (efeito encontrado também em outros estudos).
- c. O videogame aprimora as habilidades para “descobrir regras” por meio de observação, teste de hipóteses, tentativa e erro. Segundo a autora o processo de se fazer observações, estabelecer hipóteses e desvendar regras que regem o comportamento de representações dinâmicas é, basicamente, o processo cognitivo da descoberta por indução, ou seja, o processo do pensamento por trás do pensamento científico. Ela afirma que os jogos digitais, em sua maioria, exigem essa habilidade.
- d. As habilidades adquiridas com o videogame são transferidas e levam à melhor compreensão das simulações científicas, devido à capacidade aumentada de decodificar a representação icônica dos gráficos computacionais.
- e. Jogar videogame aprimora as habilidades em atividades que requerem “atenção dividida”, como monitoramento simultâneo de diversos locais, ajudando a ajustar as “estratégias de emprego de atenção” de forma adequada. Os jogadores ganham rapidez de resposta tanto a estímulos esperados quanto aos inesperados.

GREENFIELD (1984) apresenta o seguinte questionamento: “Será que as novas tecnologias estão caminhando rumo à criação de um novo tipo de pessoa?”. PRENSKY (2012), como resposta ao questionamento, afirma que as habilidades cognitivas não são algo novo, mas pode ser que uma combinação especial o seja. Vale ressaltar que as pesquisas subsequentes de GREENFIELD (1996), confirmaram e aprimoraram as

¹⁰⁴ Origami é uma arte tradicional e secular japonesa de dobrar o papel, utilizada para criar representações de seres ou objetos com as dobras geométricas de uma peça de papel, sem o uso de corte ou cola.

primeiras descobertas, deixando claro também que está surgindo uma nova geração com a combinação de habilidades cognitivas bem diferentes das de seus antecessores – a geração dos jogos.

6.3 A GERAÇÃO DOS JOGOS DIGITAIS

Os jogos digitais não excluem as outras gerações, muito pelo contrário, até as conquista, conforme ilustra a Figura 85.



Figura 85: Jogos digitais são democráticos com todas as gerações. Nesta imagem Roberto¹⁰⁵ (pai) e Alexandre¹⁰⁶ (filho), imigrantes digitais, jogando FIFA 13 – famoso jogo de futebol - em um console de videogame (Sony Playstation 3[®]), pertencente ao Sr. Roberto, em 2013.

As gerações dos jogos digitais¹⁰⁷ são falantes nativos da linguagem digital dos computadores, *videogames* e da internet (PRENSKY, 2012). O autor também salienta que mesmo aqueles que não nasceram “nesse universo” – referindo-se ao universo dos jogos digitais e tecnologias contemporâneas -, mas que em algum momento da vida adquiriram certo fascínio pelas novas tecnologias, tendo adotado muitos ou a maior parte de seus aspectos, são e sempre serão os “imigrantes digitais¹⁰⁸” quando comparados às gerações dos jogos.

¹⁰⁵ Roberto G. Esperidião economista, empresário e consultor de empresas, nascido em 1947 (da geração dos *baby boomers*).

¹⁰⁶ Alexandre Elias B. Esperidião formado em Administração de Empresas, nascido em 1971 (geração X), trabalha no ramo de seguros. Seu primeiro contato com *videogame* foi com o Telejogo, sempre gostou de jogos de tabuleiro e jogos digitais (no computador ou em consoles).

¹⁰⁷ Chamadas por alguns autores N-gen – N de net, geração internet – ou de D-gen, geração digital.

¹⁰⁸ Metáfora usada por Douglas Rouskoff, autor de “*Playing The Future: How Kid’s Culture Can Teach Us to Thrive in na Age of Chaos*”, foi citado por dizer que “as crianças são nativas de um lugar em que a maior parte dos adultos é imigrante” (Elizabeth Weil, “*The Future Is Younger Than You Think*”, em *Fast Company*, 30-4-1997), segundo PRENSKY (2012), p. 75.

Ainda segundo PRENSKY (2012), diferentemente das gerações anteriores (criadas com livros, rádio, televisão, entre outros tipos de mídias não interativas), a geração dos jogos digitais é constituída de participantes ativos, em vez de simples observadores passivos. Segundo o autor, é de fundamental importância a distinção entre “participar” e “assistir”, ainda que não sejam conceitos mutuamente excludentes. TAPSCOTT (1998) afirma que eles não querem ser somente ouvintes ou observadores, mas sim, usuários. MURRAY (1997) refere-se a esse tipo de comportamento como “o poder da satisfação de realizar ações significativas e ver os resultados das decisões e escolhas”.

Embora a geração de jogos use tanto as mídias ativas quanto as passivas, ela prefere os videogames e a internet à televisão, devido à interatividade dos dois primeiros (GREENFIELD, 1984, PRENSKY, 2012).

Segundo PRENSKY (2012), embora as duas formas (ativa e passiva) continuem a coexistir, a geração dos jogos vive agora muito mais no mundo interativo – com ênfase no “ativo” e complementa:

“... quando os instrutores ou professores que pertencem à geração do baby boom trazem vídeos passivos, independente de como, do formato e do meio – como adoram fazer –, costumam pensar que estão fazendo um favor para os aprendizes. Mas o que os aprendizes querem mesmo é interatividade – para eles, o resto é basicamente chato demais...”(Prensky, 2012, p. 77).

Alguns autores sugerem que o período de atenção deles é mais curto, inclusive citando o polêmico déficit de atenção (TDA – Transtorno de Déficit de Atenção ou TDAH – Transtorno de Déficit de Atenção com Hiperatividade)¹⁰⁹. Porém, a doutora Idit Harel¹¹⁰, apud TAPSCOTT (1998), afirma não acreditar no déficit de atenção, identificado especialmente nas crianças dessas novas gerações que, segundo ela, pensam

¹⁰⁹ Uma das primeiras referências a uma criança com TDAH foi em 1865, na poesia do médico alemão Heinrich Hoffman. Ele escrevia poemas sobre muitas doenças infantis que encontrou em sua prática médica. Entretanto, o crédito científico ficou com os pediatras ingleses George Still e Alfred Tredgold em 1902, sendo os primeiros autores a dedicar atenção clínica séria a uma condição comportamental infantil que se aproximava do que hoje se conhece por TDH (BARKLEY *et al.*, 2008).

¹¹⁰ Idit Harel Caperton, PhD – nascida em 1958 – é uma israelense-americana conhecida por seu empreendedorismo em ferramentas e tecnologias voltadas para educação. No MIT tem contribuído para o desenvolvimento da teoria de aprendizagem construcionista, juntamente com Seymour Papert.

de forma diferente: “... Às vezes, elas realizam tarefas múltiplas; em outras ocasiões, podem começar algo e passar horas e horas caso essa atividade lhes faça sentido...”.

PRENSKY (2012) reforça a observação de Harel, afirmando:

“... A atenção deles não é curta para jogos, por exemplo, para música, para andar de patins, para passar o tempo na internet, ou para qualquer coisa que lhes interesse de fato...”
(PRENSKY, 2012, p. 78).



Figura 86: Idit Harel, Phd.

Quanto à atenção em relação à educação e participação dos indivíduos em treinamentos, PRENSKY (2012), complementa:

“... O treinamento e os métodos de ensino tradicionais simplesmente não lhes são atraentes. Não que eles não consigam prestar atenção, eles apenas optam por não fazê-lo...” (PRENSKY, 2012, p. 78).



Figura 87: Ilustrando a atenção em jogos. Arthur (14) e Rodrigo (13) jogando, cada um em um computador.



Figura 88: Gabriela (13), Rodrigo (13) e Arthur (14), jogando em console (XBox), jogo cooperativo.

TAPSCOTT (1998) sugere que tem surgido uma nova cultura jovem, definida em padrões socialmente transmitidos e compartilhados de comportamentos, costumes,

atitudes e códigos tácitos, crenças e valores, artes, conhecimento e formas sociais, mediante ao aparecimento de novas mídias. Em concordância, ARRUDA (2011) observa que os jovens com acesso às diferentes mídias digitais criam novas relações com a aprendizagem e novas maneiras de interpretar o mundo.

Sob essa perspectiva, os jogos digitais atuais, diferentemente daqueles criados em meados de 1980, possuem não só uma representação da realidade rica em detalhes, mas também se configuram em tecnologias que exigem dos jogadores (geração dos jogos), níveis de elaborações mentais bastante complexos (PRENSKY, 2012). De maneira geral, percebe-se a presença “marcante” desses jogos nos lares, consolidando suas implicações culturais, sociais e econômicas, ainda pouco conhecidas (ARRUDA, 2011, BECK, 2004).

ARRUDA (2011) reforça que jogar *videogame* não se trata mais apenas de brincadeira de criança. Segundo o autor, estudos recentes demonstram um aumento considerável, ao longo dos últimos anos, de jogadores com idade entre 25 e 40 anos. A idade desses adultos tem reflexo temporal próximo ao da explosão comercial dos *videogames* (década de 1970), ou seja, as crianças que os jogam tendem a manter tal hábito quando entram na fase adulta.

Segundo PRENSKY (2010), os jogadores de *videogames* tornam-se bons em conseguir informações de muitas fontes, combinar dados de vários locais em um coerente retrato de mundo e tomar boas decisões rapidamente¹¹¹. Adicionalmente, observa o autor, os integrantes das gerações de jogos tornam-se especialistas da multitarefa, isto é, conseguem fazer mais de uma coisa ao mesmo tempo e com competência e, cada vez mais, aprendem a colaborar entre si, por meio das diversas redes.

6.4 RELAÇÃO ENTRE JOGOS E A APRENDIZAGEM

HUIZINGA (2007) afirma que jogos e brincadeiras existiam mesmo antes da civilização humana, isto é, sempre existiu na vida dos animais (facilmente observado, especialmente quando filhotes).

¹¹¹ Essa é uma importante habilidade denominada de “consciência situacional” exigida, não somente de indivíduos que optam pela carreira de oficial das forças armadas, mas também de executivos.

“... O jogo é fato mais antigo que a cultura, pois esta, mesmo em suas definições menos rigorosas, pressupõe sempre a sociedade humana; mas, os animais não esperaram que os homens os iniciassem na vida lúdica. É-nos possível afirmar com segurança que a civilização humana não acrescentou característica essencial alguma à ideia geral de jogo. Os animais brincam tal como os homens...” (HUIZINGA, 2005, p.03).

Em sua análise, ARRUDA (2011) também afirma que o jogo não é algo novo, tanto na vida animal quanto na vida humana. Segundo ele, os humanos, desde o nascimento, vivem o universo do jogo em suas interações com o outro.

O jogo manifesta-se ao longo das distintas etapas vitais das pessoas, confirmando a ideia de que a grande maioria das pessoas, independente do gênero ou da idade, gosta de jogar (RODRIGUEZ *et al.*, 2006)

Escavações arqueológicas encontraram diversos jogos que datam centenas de anos antes de Cristo, mas a ideia de jogo pode ser relacionada às primeiras brincadeiras que pais fazem com os bebês, ou mesmo às crianças quando brincam. É possível observar a presença dos jogos ao longo da trajetória evolutiva da humanidade, apresentando-se como forma de educar o corpo e a mente para a sobrevivência.

BORJA (1980) e ARRUDA (2011) argumentam que o jogo e a linguagem são constantes antropológicas, ou seja, que são encontradas em todas as civilizações e em todas as eras.

HUIZINGA (2007) explica a história dos jogos a partir da relação do homem com o trabalho. Segundo ele, na sociedade antiga, o trabalho não tinha o valor que a sociedade atribui atualmente, tampouco ocupava tanto tempo do dia. O autor traz uma concepção cultural para o jogo argumentando que este é uma categoria absolutamente primária da vida, tão essencial quanto o raciocínio (*Homo Sapiens*) e a fabricação (*Homo Faber*); então, denomina o ser humano na sua essência cultural como *Homo Ludens*, significando que o elemento lúdico está na base do surgimento e desenvolvimento da civilização.

Ainda segundo HUIZINGA (2007), os jogos e os divertimentos, na antiguidade, eram um dos principais meios de que dispunha a sociedade para estreitar seus laços

coletivos e se sentir unida. Isso se aplicava a quase todos os jogos, e esse papel social era evidenciado na realização de festas sazonais. Adultos, jovens e crianças se misturavam em toda a atividade social, ou seja, nos divertimentos, no exercício das profissões e tarefas diárias, no domínio das armas, nas festas, cultos e rituais. De acordo com o autor “atividade lúdica” é toda atividade que envolve prazer.

Observa-se que, na forma de socialização descrita acima, com a participação de indivíduos de várias gerações nas atividades daquela coletividade, o conhecimento e as tradições passavam de geração a geração. O cerimonial dessas celebrações não fazia muita questão em distinguir claramente as crianças dos jovens e estes dos adultos, principalmente devido à falta de clareza das diferenciações desses grupos sociais.

No século IV, antes de Cristo, Platão¹¹² afirmava que os primeiros anos da criança deveriam ser ocupados com jogos educativos, praticados pelos dois sexos e com tutoria desde o jardim da infância, segundo (ALMEIDA, 2003). Já Aristóteles¹¹³, pupilo de Platão, comparou o jogo à felicidade e à virtude, pois estas atividades não são importantes como as que constituem o trabalho e são “escolhidas por si mesmas” (ABBAGNANO, 1998).

No século XVI, MONTAIGNE¹¹⁴ (1991) observou a importância da educação global do indivíduo, ressaltando que o processo de ensino-aprendizagem acontece a partir da curiosidade da criança e da percepção do mundo ao seu redor físico.

¹¹² Platão (427-348 a.C.) foi um filósofo e matemático do período clássico da Grécia Antiga. Autor de diversos diálogos filosóficos e fundador da Academia em Atenas, considerada a primeira instituição de educação superior do mundo ocidental. Juntamente com seu mentor, Sócrates, e seu pupilo, Aristóteles, Platão ajudou a construir os alicerces da filosofia natural, da ciência e da filosofia ocidental. Acredita-se que seu nome verdadeiro tenha sido Arístocles.

¹¹³ Aristóteles (384-322 a.C.) foi um filósofo grego, aluno de Platão e professor de Alexandre, o Grande. Dedicou-se a escrever sobre diversos assuntos, como a física, a metafísica, as leis da poesia e do drama, a música, a lógica, a retórica, o governo, a ética, a biologia e a zoologia. Juntamente com Platão e Sócrates, Aristóteles é visto como um dos fundadores da filosofia ocidental. Em 343 a.C. torna-se tutor de Alexandre da Macedônia, na época com treze anos de idade, que será o mais célebre conquistador do mundo antigo. Em aproximadamente 335 a.C., em Atenas, Aristóteles funda o Liceu.

¹¹⁴ Michel Eyquem de Montaigne (1533 —1592) foi um jurista, político, filósofo, escritor, cético e humanista francês, considerado pai do ensaio pessoal e um dos precursores da ludicidade. Em suas obras analisou as instituições, as opiniões e os costumes, debruçando-se sobre os dogmas da sua época e tomando a generalidade da humanidade como objeto de estudo. Criticou a educação livresca e mnemônica, propondo um ensino voltado para a experiência e para a ação. Acreditava que a educação livresca exigiria muito tempo e esforço, o que afastaria os jovens dos assuntos mais urgentes da vida. Para ele, a educação deveria formar indivíduos aptos ao julgamento, ao discernimento moral e à vida prática.

As concepções sobre o processo de ensino-aprendizagem sofreram transformações em meados do século XVII. Até então as crianças eram definidas como adultos em miniatura e tinham que ser cuidadas até obterem a maturação física. Segundo ARRIÈS (1981), a infância não era reconhecida pela sociedade como categoria diferenciada do gênero humano. O autor sinaliza ainda que as brincadeiras infantis não se distinguiam das brincadeiras dos adultos, dividindo o mesmo espaço e praticando as mesmas atividades lúdicas.

De acordo com FRÖEBEL ¹¹⁵ (2001), as crianças deveriam ser deixadas livres para expressarem sua riqueza interior. Isso deveria ocorrer através de jogos e artes plásticas. Para o autor, a brincadeira é o auge do desenvolvimento humano na infância, pois é a representação viva do interno, séria e de profunda significância.

O sujeito psicológico esteve em evidência a partir do século XX, e o jogar, nessa perspectiva, passou a ser visto como parte do processo de desenvolvimento, construção, interação e socialização do aprendiz. As concepções interacionistas, que levam em consideração o sujeito, o ambiente e suas relações, foram se sobrepondo às explicações inatistas, conforme mencionado no Capítulo 2.

Novamente cita-se VYGOTSKY (1998), que trata o papel dos jogos na aprendizagem e no desenvolvimento da criança, realçando a função do jogo no aprendiz, na medida em que este possibilita a criação da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). Esse é o nível de desenvolvimento no qual o aprendiz imagina e resolve situações com auxílio de outros indivíduos, para resolver sozinho mais tarde, proporcionando a construção do conhecimento e a interação social entre os envolvidos (FORD, 1991).

Observa-se que, no jogo, uma criança internaliza regras e encontra soluções para os conflitos que lhe são impostos na vida real. No seu “faz-de-conta”, a criança tende a imitar a realidade, atuando num nível superior ao que se encontra.

O jogo é uma arena privilegiada onde são desenvolvidas as relações interpessoais

¹¹⁵ Friederich Wilhelm August Fröebel foi um pedagogo e teórico alemão do século XIX. Nasceu em 1782 e faleceu em 1852. Fundador do primeiro jardim da infância. Fröebel defendia um ensino sem obrigações, alegando que o aprendizado depende dos interesses de cada um e se faz por meio da prática. Foi um dos primeiros educadores a considerar o início da infância como uma fase decisiva na formação do indivíduo (ideia hoje consagrada pela psicologia, ciência da qual foi precursor).

e intrapessoais do aprendiz, favorecendo a criação da ZDP, porém, nem todo jogo, bem como nem todo ensino cria esta zona de desenvolvimento. Embora o aprendizado esteja diretamente relacionado ao curso do desenvolvimento da criança, ambos nunca são realizados ao mesmo tempo.

VYGOTSKY (1998) afirma que o prazer não é característica predominante do jogo, acreditando que a criança só brinca quando é capaz de imaginar. Essa capacidade só estaria internalizada com o desenvolvimento da linguagem verbal. Portanto, para o autor, crianças menores de dois anos não brincam, pois não têm linguagem verbal desenvolvida e, desta forma, não podem imaginar. Destacando a imaginação como atividade criadora, o autor caracteriza o jogo infantil como situação imaginária com delimitação de regras: no jogo a criança planeja, representa papéis, situações do cotidiano (em geral, fazendo na brincadeira o que ela não pode fazer na realidade), preparando-se para futuras vivências/experiências. Isto é, o jogo é essencialmente desejo satisfeito, originado de desejos insatisfeitos da criança.

“... É notável que a criança comece com uma situação imaginária que, inicialmente, é tão próxima da situação real. O que ocorre é uma reprodução da situação real. Uma criança brincando com uma boneca, por exemplo, repete quase exatamente o que sua mãe faz com ela. Isso significa que, na situação original, as regras operam sob uma forma condensada e comprimida. Há muito pouco de imaginário. É uma situação imaginária, mas é compreensível à luz de uma situação real que, de fato, tenha acontecido. O brinquedo é muito mais a lembrança de alguma coisa que realmente aconteceu do que imaginação. É mais a memória em ação do que uma situação imaginária nova...” (VYGOTSKY, 1998, p. 117).

De acordo com VYGOTSKY (1998), processo de ensino-aprendizagem é o responsável por criar a ZDP. O aprendizado de modo geral e o escolar em particular, não só possibilitam como orientam e estimulam o processo de desenvolvimento. Vygotsky pontua a ligação entre jogo e aprendizagem, sendo esta fundamental para o desenvolvimento infantil. Segundo esse raciocínio, não é necessário aguardar que a criança se desenvolva para ensinar-lhe conteúdos. Isso porque a aprendizagem do indivíduo acontece de relações interpessoais para o intrapessoal, conforme já citado anteriormente no Capítulo 2. Essa é uma visão prospectiva que se contrapõe à visão de

Piaget.

Para PIAGET (1978), também referenciado no Capítulo 2, o jogo é a assimilação do real. No jogo prepondera a assimilação, ou seja, o indivíduo apreende, no jogo, o que percebe da realidade.

PIAGET (1978) aponta três categorias de jogos infantis:

- a. Jogos de exercícios: fase que vai desde o nascimento até o surgimento da linguagem, aproximadamente, por volta dos dezoito meses, sendo aquela em que a criança repete uma determinada situação por puro prazer, por ter apreciado seus efeitos;
- b. Jogos simbólicos: do aparecimento da linguagem até aproximadamente 6/7 anos, são aqueles que satisfazem a necessidade da criança de não somente lembrar o mentalmente acontecido, mas de executar a representação;
- c. Jogos de regras: dos 6/7 anos em diante são transmitidos socialmente de criança para criança e, por consequência, vão aumentando de importância, de acordo com o progresso de seu desenvolvimento social.

Segundo BROUGÈRE (1998), Piaget não estudou o jogo em si, mas sim a brincadeira, sendo uma das raras atividades espontâneas da criança, permitindo a leitura de suas representações. O jogo foi utilizado para que esse autor pudesse entender melhor o desenvolvimento infantil.

Para Freud apud. BROUGÈRE (1998), o jogo não possui um significado expressivo, pois é um fenômeno comportamental a ser estudado em relação a outros fenômenos, com a arte, por exemplo. O importante para Freud é a origem da emoção do indivíduo pelo jogo. Segundo Freud, o que organiza o jogo é o desejo. Somente pelo prazer e vontade de fazê-lo é que o jogo acontece.

É possível observar que a maioria dos estudos envolvendo aprendizagem, até então, era realizada com base no aprendizado da criança, pois se acreditava que o cérebro humano não sofria mudanças físicas causadas por estímulos recebidos do mundo exterior, especialmente após os primeiros anos de idade. Porém, conforme

mencionado na Seção 6.2 do presente capítulo, as evidências e pesquisas científicas mais recentes no campo da neurociência, não há mais dúvidas de que estímulos de vários tipos mudam, sim, as estruturas cerebrais e afetam o modo de pensar das pessoas, sendo que essas transformações continuam ao longo da vida (PRENSKY, 2012).

Observa-se que nas últimas décadas os educadores têm enfrentado inúmeras dificuldades na adequação da docência às mudanças da sociedade. Assim, para que os aprendizes alcancem os novos objetivos impostos pelo processo de ensino-aprendizagem, as atividades de ensino devem ser atualizadas, para que possam ir além dos conhecimentos necessários para atuar na sociedade de forma crítica e responsável.

Carl Sagan¹¹⁶, apud RIGOLON e OBARA (2010), afirmou que se os professores fossem mais estimulantes e, se o conteúdo for trabalhado de forma divertida, os indivíduos vão querer aprender. O professor deve, além de incentivar o aprendiz a pensar, incentivá-lo a pensar de forma diferente, mais criativa e, conseqüentemente, mais interessante.



Figura 89: Carl Sagan - Cientista estadunidense

Observa-se a necessidade da mudança de perspectiva em relação à educação. Carl Sagan, na série televisiva “Cosmos” (1980), mostrou ao mundo que é possível ensinar

¹¹⁶ Carl Edward Sagan (1934-1996) foi um cientista, astrobiólogo, astrônomo, astrofísico, cosmólogo, escritor e premiado divulgador científico norte-americano. Autor de mais de 600 publicações científicas e, também, de mais de 20 livros de ciência e ficção científica. Bastante conhecido também pela premiada série de televisão “Cosmos: Uma Viagem Pessoal”, de 1980, que ele mesmo narrou e coescreveu. Considerado um dos divulgadores científicos mais carismáticos e influentes da história, graças a sua capacidade de transmitir as ideias científicas e os aspectos culturais ao público não especializado.

de forma criativa, imaginativa no formato de entretenimento.

Segundo PRENSKY (2012), as pessoas das gerações mais antigas acham que aprender deve ser um “trabalho pesado”. O autor afirma que a aprendizagem baseada em jogos não contesta esse pensamento: a mudança, na expressão supracitada, não afeta o termo “pesado”, mas se concentra no significado de “trabalho”. Segundo ele, ninguém contesta o fato de que aprender envolve esforço e energia, mas pode-se aprender através de “diversão pesada”¹¹⁷.

Diversos autores como, por exemplo, MARTINEZ e MARTINS (2008) e ZANON, GERREIRO e OLIVEIRA (2008), reconhecem o jogo como uma importante ferramenta de auxílio no processo de ensino-aprendizagem e, afirmam que, apesar de reconhecido como recurso pedagógico, ainda é comum a classificação dos jogos como atividades menos sérias.

Em uma explanação sobre “brincar versus trabalhar”, PRENSKY (2012), ao se referir à aplicação de jogos na educação, afirma que:

“... Os participantes da geração dos jogos costumam ser ridicularizados... como sendo intelectualmente preguiçosos, mas na realidade, eles fazem parte de uma geração orientada para a solução de problemas intelectuais. Muitos tipos de tarefa que exigem o pensamento lógico, de quebrar a cabeça e que envolvem a organização espacial, além de outros pensamentos complexos, encontram-se embutidos nos jogos...”
(PRENSKY, 2012, p.93).

PRENSKY (2012) segue esse raciocínio, argumentando que, cada vez mais, o trabalho tem assumido características de jogos, ou da experiência em jogo (objetivo, metas, aprimoramento da eficiência no alcance dessas metas, indicadores de desempenho, competitividade, “tentativa e erro”, dentre outras). Assim, o autor oferece olhar distinto do senso comum, para o qual “brincar” e “jogar” são apenas formas de preparação para o trabalho. Vai além, sustentando que “brincar” e “trabalhar” não precisam, necessariamente, estar separados.

Segundo os professores STARBUCK e WEBSTER (1991), trabalhar e brincar são

¹¹⁷ Expressão utilizada por aprendiz que realizou aprendizado através de jogos digitais, relatada de forma completa por NEGROMONTE (1996).

atividades que sempre se sobrepuseram. Muitas pessoas se relacionam com o trabalho, dele obtendo grande prazer, podendo, por meio de atividades lúdicas, criar resultados de valor duradouro (em especial trabalhos que envolvam criatividade). A partir de suas pesquisas, esses autores concluíram haver significativo aprimoramento de aprendizagem, quando as pessoas se envolvem em atividades divertidas, nas quais despendem prazerosamente tempo e esforço.

PRENSKY (2012) afirma que os jogos e brincadeiras podem ser partes valiosas do processo de ensino-aprendizagem, no intuito de facilitar o aprendizado, transformando-o em algo divertido. O autor argumenta que conhecimentos transmitidos dessa forma são mais facilmente lembrados.

Em seus estudos, CAILLOIS (1990), JULL (2003), HUIZINGA (2007) e ARRUDA (2011) observam que a participação nos jogos é voluntária, ou seja, o jogador entra e sai do jogo quando bem entender. Não existe obrigatoriedade para iniciar uma partida, sendo, portanto, uma atividade livre. Isso diferencia o jogo de diversas atividades cotidianas, cuja obrigatoriedade submete o corpo e a mente todos os dias.

Segundo ARRUDA (2011), mesmo que se considere como uma atividade livre, todo jogo é baseado em regras, às quais o jogador deve se submeter caso queira participar. Ainda sobre as regras, para HUIZINGA (2007) elas são criações anteriores à sociedade e, ao se pensar na dimensão humana e em suas interações com o jogo, torna-se difícil desvincular as estruturas organizadoras das relações subjetivas e as de poder.

GALLO (2007) considera que, ao jogar, os participantes se respeitam sem questionamentos e, acima de qualquer coisa outra coisa, respeitam as regras, pois por mais gratuitas e arbitrárias que possam parecer e efetivamente serem, são necessárias para a criação e manutenção do mundo do jogo.

“... A regra não é e não precisa ser imposta à força no jogo. A única coisa que impõe a regra é a própria vontade de jogar. É o que basta. Trata-se de uma legislação tácita num universo sem leis, um conjunto de restrições e permissões aceito para estabelecer uma certa ordem. A definição das regras parte de um equilíbrio, maior ou menor, entre o binômio permissão-proibição. Algumas regras definem o que o jogador deve ou

pode fazer, enquanto outras aquilo que o jogador não deve ou não pode fazer...” (Gallo, 2007, p.39).

Percebe-se que da perspectiva apresentada por HUIZINGA (2007), o jogo possui um papel civilizatório, ao contribuir para a aprendizagem de regras, limites, exercício do cálculo e autodomínio, polidez e cortesia nas relações sociais. Segundo, ARRUDA (2011), guardadas as suas singularidades, a escola também produz esse exercício de poder. No entanto, a grande distinção entre ambos é a liberdade de entrar e sair dos domínios do jogo e suas estruturas, sem prejuízos maiores para o sujeito, diferentemente das implicações sociais do abandono escolar.

Portanto, percebe-se que jogar é, com efeito, algo sério, pois ensina e possibilita a internalização de regras sociais¹¹⁸.

Segundo GALLO (2007), com regras, a dimensão política e das relações de poder também estão presentes no jogo, podendo ser percebida e estudada pelos jogadores.

“... A regulamentação é, portanto, outra característica marcante e fundamental ao jogo. É, para nós, igualmente curioso pensar nas maneiras pelas quais as regras – nas mais diversas esferas nas quais o jogo pode se manifestar – são definidas. Em princípio, não há uma razão lógica ou explicação clara e absoluta para que elas sejam simplesmente como são. E, mesmo assim, são aceitas e respeitadas pelos diversos sujeitos-jogadores, sem burocracia nem maiores impedimentos e constrangimentos. Se fora do jogo os sujeitos diferentes podem divergir quanto à religião, política, interpretações e leis diversas, no interior do jogo, os jogadores estabelecem um pacto pelo jogo, demonstrando um respeito mútuo às regras do jogo...” (Gallo, 2007, 37).

ARRUDA (2011) ressalta, dada a importância das regras para o jogo, que estas devem ser bem delimitadas de modo a garantir parâmetros iguais para os jogadores.

¹¹⁸ GALLO (2007) faz uma observação interessante quando se compara o jogo à sociedade. Segundo ele, para que o jogo transcorra dentro de sua normalidade estipula-se uma espécie de pacto entre os jogadores: todos declaram conhecer, estar de acordo e respeitar as regras do jogo. O autor ressalta a seriedade desse pacto prévio de respeito às regras, como uma manifestação da seriedade do jogo. Sustenta ser raro esse compromisso fora do universo dos jogos, constatável pela falta de diálogo e pelos desentendimentos que, ao longo história da civilização, têm resultado em guerras, desigualdade social, dentre outras mazelas.

Quanto aos *videogames*, em especial os mais recentes, PRENSKY (2010) afirma que ninguém explica as regras de antemão aos jogadores, eles precisam descobri-las jogando. De acordo o autor, quem joga *videogames* aprende a deduzir as regras do jogo a partir dos fatos que observa e aprende a pensar por meio da experimentação e daquilo que os cientistas chamam de “método esclarecido de tentativa e erro”, descobrindo, também, como lidar com sistemas altamente intrincados.

Ainda, segundo PRENSKY (2010), para superar os complicados desafios propostos pelos jogos digitais, os jogadores precisam aprender, por meio de um raciocínio complexo, a criar estratégias para vencer os obstáculos e ser bem sucedidos – habilidades prontamente generalizáveis. Pelo que relata o autor, pesquisadores descobriram que jogadores de *videogames* assumem riscos calculados nos negócios melhor do que pessoas que não jogam.

Observa-se, portanto, que há uma relação próxima entre os jogos e o comportamento da sociedade. Percebe-se, também, que dos jogos pode surgir aprendizagem, tanto de conteúdos, de forma direta ou por analogia com situações do mundo real, quanto de habilidades, dependendo de uma série de fatores, dentre eles o contexto e o objetivo do jogo.

6.5 JOGOS DIGITAIS APLICADOS EM EDUCAÇÃO

Como mencionado anteriormente, o processo de ensino-aprendizagem no decorrer da história resumiu-se à transmissão de conteúdos entre professor e aluno, processo no qual o aluno tornava-se agente passivo da aprendizagem e o professor era tido com o único detentor do conhecimento ou saber. Porém, as mudanças ocorridas na sociedade, especialmente no tocante à evolução tecnológica, têm exigido a transformação desse modelo de educação.

Observa-se, diante do apresentado na seção anterior, que o ato de jogar possibilita a construção de sólidas relações sociais, na medida em que necessita da interatividade dentro do contexto do jogo. Essa perspectiva se aproxima do pensamento de VYGOTSKY (1998), uma vez que o jogo envolve elementos simbólicos, sociais, culturais e desafios crescentes, o que possibilita o desenvolvimento e a aprendizagem.

Em seu estudo, ARRUDA (2011) observa que os jogos digitais atuais não se

diferem dos demais jogos, quanto à sua concepção, entretanto, se comparados com jogos de outros tempos, a sua característica hipermidiática intensifica as interações sociais e as experiências vivenciadas pelos jogadores, encorajando-os a explorar relações causais, a partir de diferentes perspectivas. Por essa razão, os jogos digitais podem ser uma interessante ferramenta de aprendizado.

Segundo PRENSKY (2012), educação por meio de jogos digitais se dá pela união entre conteúdo educacional e jogos eletrônicos. A afirmação parte da premissa que é possível combinar *videogames* com uma variedade de conteúdos educacionais, levando a resultados tão bons quanto, ou até melhores do os obtidos pelos de métodos tradicionais.

PRENSKY (2012) aponta que a aprendizagem através de jogos digitais funciona pelas seguintes razões:

- a. **Envolvimento** acrescido pelo fato de a aprendizagem ser colocada em um contexto de jogo.
- b. **Processo interativo** de aprendizagem empregado, podendo assumir diferentes formas, dependendo de seus objetivos.
- c. A maneira como o **envolvimento** e o **processo interativo** se unem no pacote total, sendo a **solução contextual** o melhor dos modos possíveis de se fazer essa junção.

Ainda de acordo com PRENSKY (2012), os jogos digitais têm assumido um papel de maior destaque e central no processo de ensino-aprendizagem. O autor segue afirmando que, para funcionar, a exigência final é de que o conteúdo e o aprendiz sejam bem compatibilizados, o que não difere de outros métodos de ensino.

Segundo THIAGARAJAN¹¹⁹ (1998), é possível criar uma aprendizagem que proporcione o envolvimento dos jogos, contemplando todo o conteúdo exigido pelos negócios ou pela educação. Em seus estudos, Thiagarajan, considerado um dos maiores especialistas de no uso de jogos aplicados em treinamentos e em educação, mostra que a

¹¹⁹ Sivasailam Thiagarajan ("Thiagi"), Ph. D. em Instructional Systems Technology, Psychology, Research pela Universidade Indiana de Bloomington. Fundador do Grupo Thiagi (www.thiagi.com/), uma organização cuja missão, segundo ele, é de "ajudar as pessoas a melhorar o seu desempenho de forma eficaz e divertida". Entre seus trabalhos está a publicação de cerca de 40 livros, mais de 200 artigos e a criação de aproximadamente 120 jogos e simulações.

aprendizagem baseada em jogos digitais possui embasamento nas atuais “teorias de inteligência”. O autor afirma, ainda, que é vital ter a compreensão das reais necessidades dos participantes do jogo, e conhecimento sobre seus respectivos estilos de aprendizagem, para que o uso de jogos no processo de ensino-aprendizagem funcione de forma eficaz (reforçando o conteúdo exposto no Capítulo 2 do presente trabalho).

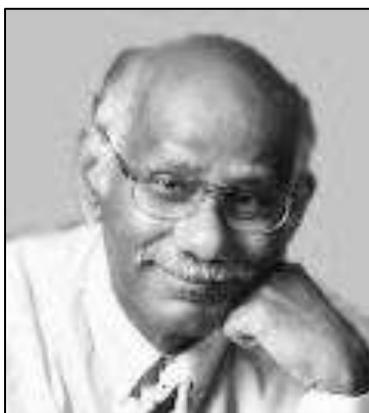


Figura 90: Sivasailam "Thiagi" Thiagarajan, Ph. D.

PRENSKY (2012) afirma que a aprendizagem baseada em jogos digitais só ocorre quando tanto o envolvimento quanto a aprendizagem são altos. Prensky cita o caso do treinamento baseado em computador TBC (em inglês *CBT – Computer Based Training*) – mencionado anteriormente no Capítulo 5, como Sistema de Instrução Assistida por Computador (*CAI – Computer Aided Instruction*) – que mesmo com seu alarde, é basicamente um caso de baixo envolvimento\baixa aprendizagem, conforme ilustra a Figura 91.

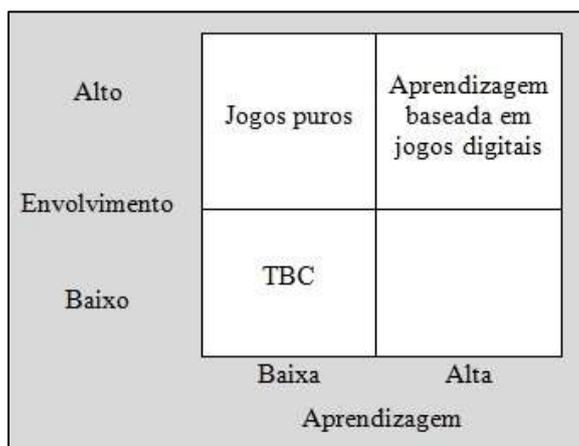


Figura 91: Relação aprendizagem x envolvimento (PRENSKY, 2012, p. 212)

PRENSKY (2012) explica que, dentro do quadrante da aprendizagem baseada em jogos digitais pode haver inúmeras variações. Não há exatamente uma situação ideal em

que se trace uma linha de 45 graus que equilibre as características “envolvimento” e “aprendizagem”, conforme a Figura 92, podendo haver situações de maior envolvimento com menor aprendizagem e vice-versa.

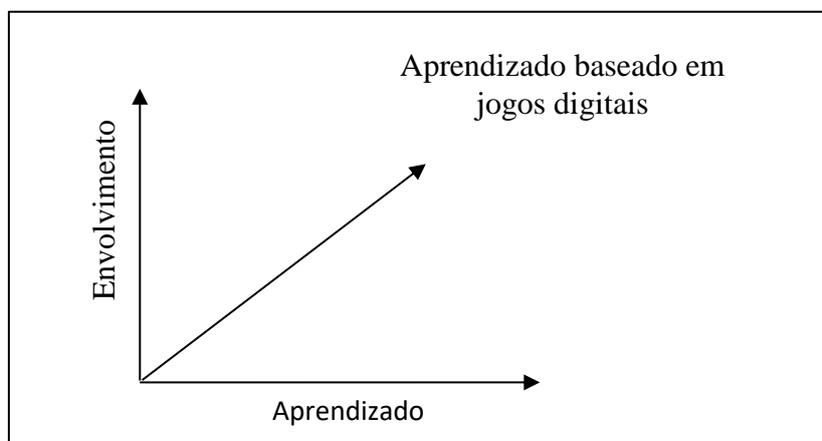


Figura 92: Equilíbrio ideal entre envolvimento e aprendizagem (PRENSKY, 2012, p.213)

PRENSKY (2012) reitera que é necessário considerar e sempre buscar o equilíbrio de ambas as dimensões, pois se considerar apenas o envolvimento, será apenas mais um jogo. Por outro lado, se o aprendizado for enfatizado em detrimento do envolvimento, há o risco de cair na categoria dos CBTs.

“... Uma boa aprendizagem baseada em jogos digitais não favorece nem o envolvimento nem a aprendizagem, mas luta para manter ambos em um nível alto...” (Prensky, 2012, p. 213).

PRENSKY (2012) afirma que, para se desenvolver um jogo digital voltado para a aprendizagem, torna-se necessária a participação de representantes do público alvo no processo de concepção desde o início. O objetivo é aproveitar suas contribuições de modo a desenvolver um jogo realmente interessante e que tenha boa aceitação. Segundo o autor, isso aumenta as chances de haver maior envolvimento por parte dos jogadores, fato necessário para que o jogo obtenha o sucesso definitivo. O autor ressalta que é necessário, também, selecionar um estilo de jogo que seja envolvente e aplicar o estilo de aprendizagem que ensine o que é exigido e então de alguma forma uni-los¹²⁰.

¹²⁰ Vale ressaltar que um dos objetivos desse estudo é ir além dessa característica, descobrindo por conta própria o estilo de aprendizagem do jogador e, com o auxílio de outras características individuais, oferecer ensino de forma personalizada e efetiva, conforme apresentado nos capítulos subsequentes.

Em seus estudos, CSIKSZENTMIHALYI¹²¹ (1990) afirma que existe um estado mental de concentração intensa (frequentemente observado em jogadores e também percebido em outras áreas) que permite transformar tarefas inicialmente difíceis em fáceis, tornando as atividades extremamente prazerosas. O autor refere-se a este estado como “fluxo”. No estado de fluxo, os desafios apresentados e a capacidade (desenvolvida com a prática no decorrer do tempo) de resolvê-los parecem estar perfeitamente alinhados, fazendo com que o indivíduo realize o que aparentemente se imaginava impossível e, ainda com um prazer extremo. O fluxo pode ocorrer em qualquer atividade de interesse do indivíduo, seja no trabalho, nos esportes ou até na aprendizagem, como quando os conceitos se tornam claros e a solução dos problemas parece óbvia.



Figura 93: Mihaly Csikszentmihalyi

Segundo PRENSKY (2012), o truque dos jogos digitais bem sucedidos é manter as pessoas nesse estado de fluxo. O autor afirma que, se deixar tudo fácil demais, os jogadores ficarão entediados e deixarão de jogar. Se deixar tudo difícil demais, os jogadores desistirão de jogar e se sentirão frustrados.

Como uma forma de se avaliar as fases do jogo, objetivando manter o fluxo, TROIS (2012) afirma que as curvas de aprendizagem dos jogos mostram uma evolução dos desafios de cada fase, observando-se a variação de dificuldade e a progressão do

¹²¹ Mihaly Csikszentmihalyi, nascido em Fiume na Itália no ano de 1934, migrou para os EUA aos 22 anos onde é professor de psicologia e gestão da Claremont Graduate University. É conhecido por seu trabalho no estudo da felicidade e criatividade, mas é mais conhecido como o arquiteto da noção de fluxo e por seus anos de pesquisa e escrita sobre o tema. Ele é o autor de diversos livros e de mais de 120 trabalhos incluindo artigos e capítulos de livros.

jogo. A habilidade do aprendiz-jogador também deve acompanhar essa evolução nos níveis alcançados. Segundo a autora, a construção das curvas de aprendizagem das fases deve observar, em cada nível do jogo, os fatores relativos a tempo, complexidade do desafio e elementos novos ali inseridos. Além disso, deve-se comparar cada nível com os anteriores e posteriores, analisando os elementos repetitivos, a dinâmica do jogo (“jogabilidade”) e as características subjetivas, como a dificuldade para realizar as ações requeridas, diversão e aprendizado.

A internalização de padrões observada por KOSTER (2005) revela-se um fator importante em relação tanto ao aprendizado quanto à diversão: no momento em que as curvas de aprendizado se mostram mais planas, a percepção ativa do jogo, a diversão e o próprio aprendizado se mostram menos intensos. Observa-se uma relação intrínseca entre o quanto o jogador aprende e o quanto ele é desafiado. Curvas de aprendizagem muito íngremes farão o jogador achar o jogo difícil, de modo que não terá interesse em aprendê-lo. Curvas de aprendizagem planas demais, por sua vez, tornam o jogo fácil e, portanto, desinteressante.

Segundo PRENSKY (2012), um dos grandes desafios da aprendizagem baseada em jogos digitais é manter os aprendizes-jogadores com o “estado de fluxo”, isto é, focados no jogo e na aprendizagem ao mesmo tempo.

6.6 JOGOS DIGITAIS COOPERATIVOS

Como apresentado anteriormente, o jogo digital produz situações que exigem a interação do jogador para a solução de desafios e, sendo um jogo, tem como componente essencial, um projeto educativo baseado em regras, sob as quais se busca resolução pacífica e ética dos desafios e conflitos.

Segundo BROWN (1994), em um jogo cooperativo, a busca para solucionar problemas parte da combinação de características individuais dos jogadores participantes (qualidades, habilidades, capacidades ou condições), implicando em um processo de exploração, escolha, e finalmente concordância para definir as ações que levam a um objetivo comum. Não significa necessariamente que os indivíduos que cooperam tenham os mesmos objetivos individuais, entretanto o alcance do objetivo comum deve proporcionar satisfação para todos os integrantes. Dessa forma, o processo

de participação no jogo pode resultar em um enriquecimento e crescimento tanto pessoal como do grupo e das próprias atividades propostas.

Ainda segundo BROWN (1994), nessa modalidade de jogo, o mais importante é a cooperação de cada indivíduo, ou seja, é o que cada um tem para oferecer naquele momento, para que o grupo possa agir com mais eficiência nas tarefas estabelecidas. Brown observa que o jogo cooperativo traz uma alternativa ao jogo de competição, em que um participante representa verdadeiro obstáculo a ser ultrapassado, a qualquer custo, para que o outro alcance seu objetivo.

Baseando-se na Teoria Construtivista¹²² de PIAGET (1978) e, em particular na Teoria Sócio-Interacionista¹²³ de VYGOTSKY (1998), ARRUDA (2011) argumenta que os indivíduos não aprendem apenas com base em suas experiências com o meio, mas, sobretudo, dialogando com outros indivíduos que fazem parte do seu ambiente social. A aprendizagem ocorre nos espaços de diálogo, observação da atividade do outro, por meio de perguntas e interações. ARRUDA (2011) relata, ainda, que os jogos digitais cooperativos apresentam tais características, tanto na composição de grupos duradouros, formando comunidades virtuais, fóruns, clãs de jogos; quanto na forma temporária, em que a dinâmica do jogo permite trocar ideias e informações, desenvolvendo os indivíduos que compõem o grupo e, também, suas estratégias de jogo.

Em sua pesquisa, SQUIRE (2008) observa que os jogos digitais em geral são espaços de socialização entre jogadores, por meio dos quais são estabelecidas interações fundamentadas em mecanismos de competição. Segundo o autor, a competição, nesse contexto, é uma forma de demonstrar as diferentes estratégias utilizadas pelos grupos de jogadores para alcançar seus objetivos dentro do jogo. Os níveis de cada jogador (do iniciante ao avançado) permitem que eles entendam o que lhes falta aprender para alcançarem determinados conhecimentos dentro do jogo.

Sobre o esse polêmico assunto “*cooperação x competição*”, ORLICK (1989) afirma tratar-se de um mito a ideia de que a competição seja elemento essencial na

¹²² Teoria que apresenta o aprendizado pela interação e uso de instrumentos simbólicos, abordada com mais detalhes no Capítulo 2.

¹²³ Teoria apoiada na concepção em um organismo ativo no qual o pensamento e o conhecimento é gerado essencialmente em um ambiente social, com a interação entre indivíduos, também abordada de forma mais completa no Capítulo 2.

educação, por preparar a vida em um mundo competitivo e por estimular o bom desempenho dos aprendizes. Essa afirmação decorre de estudos que obtiveram resultados semelhantes em classes cooperativas e competitivas.

Segundo BROTTTO (1999), os jogos puramente cooperativos, ao contrário dos que estimulam a competição, propõem a busca de novas formas de jogar, com o intuito de diminuir as manifestações de agressividade dos participantes, promovendo atitudes de sensibilidade, cooperação, comunicação, alegria e solidariedade, sem desestimular os indivíduos ou grupos que não se saíram bem.

Portanto, observa-se que a esperança, a confiança e a comunicação são as características principais dos jogos cooperativos. O jogo cooperativo busca a integração de todos os envolvidos, a alegria, a valorização do indivíduo na construção do processo de participação. Os jogos cooperativos buscam incluir e não excluir (BROWN, 1994).

Segundo BROTTTO (2001), os principais eixos da pedagogia cooperativa são:

- a. Convivência: vivência compartilhada como contexto principal para a aprendizagem no processo de reconhecimento de si mesmo e dos outros.
- b. Consciência: reflexão sobre a vivência e as possibilidades de modificar atitudes, na perspectiva de melhorar a participação, o prazer e a aprendizagem.
- c. Transcendência: auxiliando a sustentar a disposição para dialogar, decidir em consenso, experimentar as mudanças propostas e integrar no jogo e na vida, as transformações desejadas.

Amaral (2004) cita como os principais valores educativos dos jogos cooperativos:

- a. Construção de uma relação social sustentável: os jogos cooperativos mudam as atitudes das pessoas diante do jogo e delas mesmas, favorecendo a criação de um ambiente de apreço;
- b. A empatia: é a capacidade de situar-se na posição do outro, para compreender seu ponto de vista, suas preocupações, suas expectativas, suas necessidades e sua realidade;

- c. A cooperação: valor e destreza necessários para resolver tarefas e problemas em conjunto, desenvolvendo relações baseadas na reciprocidade e não no poder e controle. As experiências cooperativas são a melhor maneira de aprender a compartilhar, a socializar-se e a preocupar-se com os demais;
- d. A comunicação: desenvolvimento da capacidade para expressar, deliberada e autenticamente, o estado de ânimo, percepções, conhecimentos, emoções e perspectivas;
- e. A participação: gera um clima de confiança e de implicação comuns;
- f. O apreço e autoconceito: autoestima, autoconfiança e segurança, desenvolver uma opinião positiva de si mesmo, reconhecer e apreciar a importância do outro. O jogo cooperativo oferece ao jogador a ocasião de apreciar-se, de valorizar-se, sentir-se respeitado em sua totalidade. Pouco importa as suas aptidões, o jogador é sempre ganhador e nunca eliminado. Respeitar-se envolve o respeito dos outros.
- g. A alegria: uma das metas do ensino-aprendizagem deve ser a formação de pessoas felizes e o desaparecimento do medo ao fracasso e ao rechaço.

6.7 TIPOS DE APRENDIZAGEM EM JOGOS DIGITAIS

Segundo PRENSKY (2012), o jogo digital voltado para aprendizagem, além de atender a um tipo de público, precisa considerar o tipo de aprendizagem que se está tentando realizar e os processos interativos necessários para fazê-la acontecer. Para o escritor, tipos distintos de aprendizagem requerem metodologias diferentes, levando-se em conta, também, que os tipos de conteúdo e de aprendizagem afetam, igualmente, as escolhas de tipos de jogos.

PRENSKY (2012) apresenta um quadro indicando o tipo de conteúdo, as atividades de aprendizagem e os estilos de jogos possíveis.

Quadro 4: Tipos de aprendizagem e respectivos estilos de jogos

Conteúdo	Exemplos	Atividades	Estilos de jogos possíveis
Fatos	Leis, políticas, especificações de produtos.	Perguntas; Memorizações; Associações; Treinos.	Competições como programas de televisão; Jogos que utilizam cartões; Jogos mnemônicos; jogos de ação e de esportes.
Habilidades	Entrevistas, ensinar a vender, operar uma máquina, gestão de projeto.	Imitação; Retorno; Treinamento; Prática contínua; Crescentes desafios.	Jogos de estado persistente; RPG; Jogos de aventura; Jogos de detetive;
Julgamento	Decisões de gestão, tempo correto, ética, contratações.	Revisão de casos; Fazer perguntas; Fazer escolhas (praticar); Retorno; Treinamento.	RPG; Jogos de detetive; Interação entre múltiplos jogadores; Jogos de aventura; Jogos de estratégia;
Comportamentos	Supervisionar, exercitar o autocontrole, dar exemplos.	Imitação; Retorno; Treinamento; Prática.	RPG
Teorias	Lógica de marketing, como as pessoas aprendem.	Lógica; Experimentação; Questionamentos.	Jogos de simulação abertos; Jogos de criação; jogos de construção; Jogos que testam a realidade.
Raciocínio	Pensamento estratégico e tácito;	Problemas; Exemplos	Enigmas
Processo	Auditorias; Criação de estratégias.	Análise e desconstrução de sistemas; Prática.	Jogos de estratégia, aventura ou simulação.
Procedimentos	Montagem, procedimentos legais de bancários.	Imitação; Prática.	Jogos com tempo contado; Jogos de reflexo.
Criatividade	Invenção, configuração de produto.	Jogos de memorização.	Enigmas; Jogos de invenção;
Linguagem	Acrônimos, línguas estrangeiras, jargões profissionais.	Imitação; Prática contínua; Imersão;	RPG; Jogos de reflexo; Jogos com cartões.
Sistemas	Cuidado com saúde, mercados, refinarias.	Entender princípios; Tarefas graduadas.	Jogos de simulação.
Observação	Humores, motivação, ineficiências, problemas	Observação; Retorno.	Jogos de concentração; Jogos de aventura.
Comunicação	Linguagem, tempo, envolvimento.	Imitação; Prática.	RPG; Jogos de reflexo.

Fonte: (PRENSKY, 2012, p.220-221)

6.8 JOGOS X PÚBLICO

Em complemento ao comentado anteriormente, os adultos algumas vezes evitam aprender um novo jogo, seja por vergonha ou porque jogar demanda esforço e prática. Crianças, ao contrário, veem o fato como um desafio ou como algo natural. No entanto, a idade não deve ser uma barreira para se aprender a jogar (PRENSKY, 2012).

De acordo com PRENSKY (2012), boa parte das pessoas se mostra empolgada com a ideia de se ter a aprendizagem baseada em um jogo digital, outra parte é completamente cética em relação a isso. Existe sempre o risco de a aprendizagem baseada em jogo ser chata e, desta forma, o jogo não envolver o público. O público determina rapidamente se o jogo é envolvente, se não for, simplesmente vai ignorá-lo, desperdiçando grande parte do tempo e esforço de desenvolvimento. Conquistar o público com um jogo de aprendizagem não é algo fácil, revela o autor.

Ainda segundo PRENSKY (2012), nos negócios¹²⁴, assim como em educação, geralmente precisa se enfrentar a realidade de públicos diversos. O autor afirma que, quando isso ocorre as variáveis¹²⁵ mais importantes para fazer diferença na escolha de um tipo de aprendizagem baseada em jogos digitais são:

- a. Idade;
- b. Sexo;
- c. Competitividade;
- d. Experiência anterior com jogos.

Observa-se que nem todos gostam do mesmo tipo de jogo, portanto, oferecer escolhas ao aprendiz-jogador é geralmente uma boa ideia. Também se mostra interessante a ideia de possibilitar a escolha entre tipos diversos de jogos e caminhos alternativos, em que os jogadores não sejam conduzidos ao mesmo ponto final. PRENSKY (2012) argumenta que a opção de ter mais de um jogo pode parecer difícil, mas afirma que não é. Segundo ele isso já existe e não é de difícil desenvolvimento. Interfaces paralelas que permitem a criação de um conteúdo e o leve para diferentes formatos, oferecendo ao jogador uma escolha de estilos de jogo.

¹²⁴ Dependendo da estratégia de mercado adotada.

¹²⁵ Estas variáveis são cuidadosamente investigadas no Capítulo 8.

PARTE II

Modelo e Sistema Propostos

CAPÍTULO 7: MODELO DE CÓRTEX ARTIFICIAL

“Inteligência é a capacidade de se adaptar à mudança...”.

(Stephen Hawking)

7.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo está o cerne do presente esforço de pesquisa, pois aqui uma arquitetura de aprendizagem de máquina é apresentada, voltada para a solução de problemas realmente complexos. O modelo sugerido busca fundamentos em diversos estudos da área de neurociências, segundo os quais o cérebro pode ser dividido em áreas funcionais cognitivas, que trabalham em cooperação no processo de apreensão do conhecimento, como brevemente apresentado no Capítulo 2 (Seção 2.8).

O objetivo do presente capítulo é evidenciar a estrutura do modelo, as análises necessárias e os passos necessários para desenvolvê-lo, bem como as métricas que podem ser utilizadas para aferir sua eficiência.

É importante ressaltar que o desenvolvimento do modelo em apresentação leva em consideração a plasticidade do cérebro, característica pela qual esse órgão sofre alterações internas em decorrência do aprendizado constante, ensejando sua melhoria contínua.

Vale lembrar também que a estrutura do modelo é conceitual, isto é, não está presa a uma forma específica de desenvolvimento. Isto significa que pode ser desenvolvido tanto na forma física (hardware), quanto na forma lógica (software).

O presente capítulo está organizado de forma que a Seção 7.2 apresenta a estrutura do modelo do Córtex Artificial. A Seção 7.3 apresenta considerações gerais sobre possíveis implementações. A Seção 7.4 explana sobre o paralelismo computacional do modelo. Por fim, a Seção 7.5 apresenta a possibilidade do uso de múltiplos córtices.

7.2 ESTRUTURA DO MODELO DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINA

A arquitetura do modelo de aprendizagem de máquina foi idealizada no formato de um córtex artificial, inspirado no funcionamento cooperativo entre áreas funcionais do cérebro. A Figura 94 descreve a estrutura do córtex artificial com suas respectivas áreas funcionais, explicadas no decorrer deste capítulo.

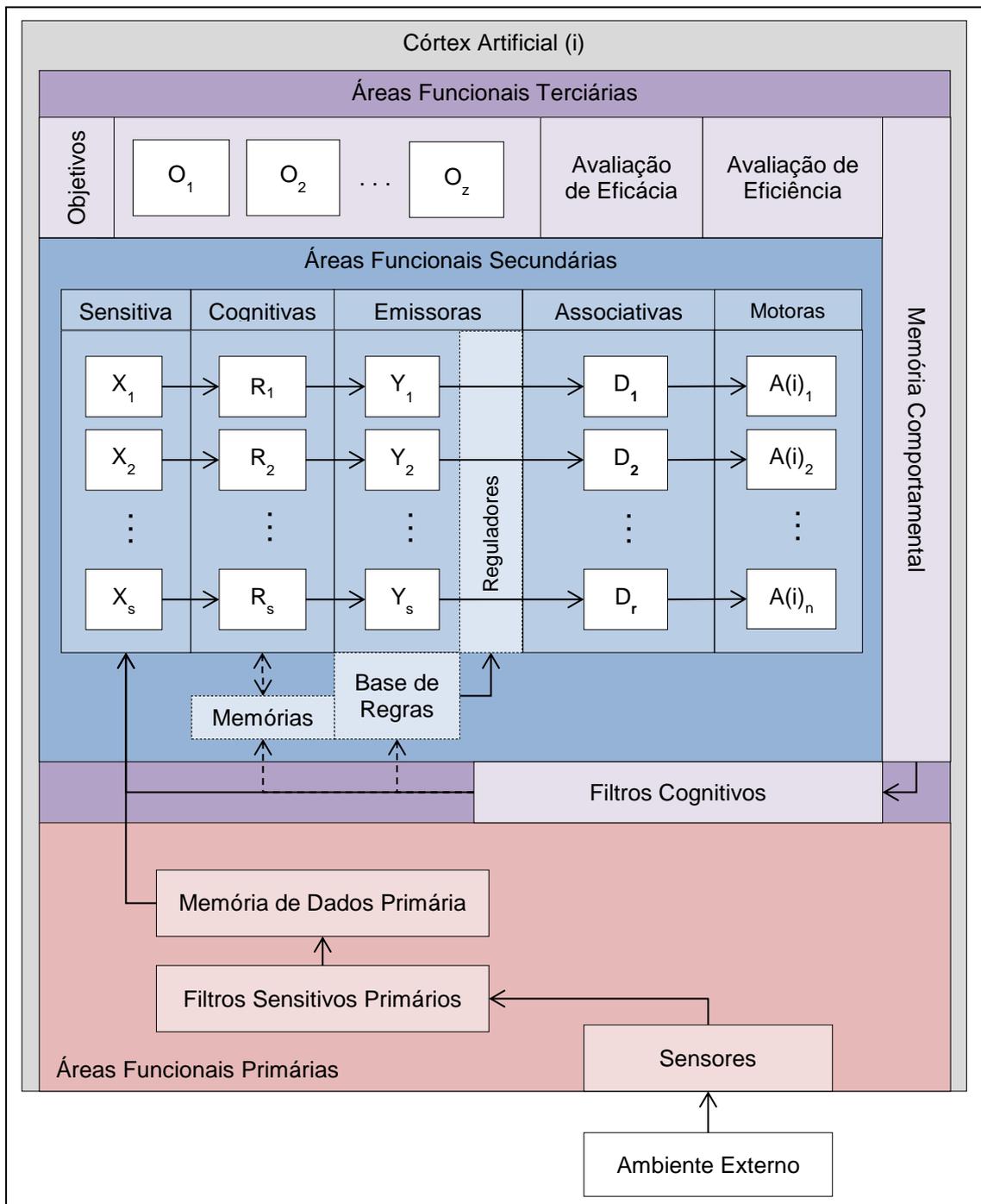


Figura 94: Estrutura do modelo conceitual de aprendizagem de máquina proposto, "Córtex Artificial".

É possível observar que o quadro denominado “Ambiente Externo” não é, necessariamente parte integrante do córtex artificial. Entretanto, ele representa uma parte fundamental para o funcionamento do córtex, como por exemplo: fonte dos dados de treinamento e uso; fonte de conceitos e contextos; fonte de informações para o desenvolvimento de regras e parâmetros de aceitação de dados; entre outros. Dele é extraído o que é necessário para o desenvolvimento da aprendizagem, dentro dos contextos de interesse de uso para córtex artificial. Em outras palavras, é do ambiente externo que se extraem as informações para que o córtex artificial possa aprender e desenvolver seu próprio conhecimento sobre determinados contextos ou fenômenos.

É importante frisar que modelo proposto é estruturado com o intuito de encontrar soluções para problemas realmente complexos e, também dinâmicos, isto é, que necessitem de ciclos de aprendizagem de tempos em tempos (aprendizado contínuo dado à dinâmica do fenômeno no qual é aplicado).

Antes de tentar entender como ocorrem os ciclos de aprendizagem ou, até mesmo, a forma de uso do córtex artificial, torna-se imprescindível o entendimento sobre sua estrutura. As subseções a seguir descrevem cada uma das áreas funcionais do córtex artificial.

7.2.1 ÁREAS FUNCIONAIS PRIMÁRIAS

As Áreas Funcionais Primárias possuem a importante função de tratar e armazenar os dados, tanto para o treinamento e aprendizagem do córtex, quanto para seu uso. Essas áreas se dividem em:

- a. Sensores;
- b. Filtros Sensitivos Primários;
- c. Memória de Dados Primária.

▪ SENSORES:

Os sensores representam os canais (meios) de entrada dos dados no sistema e estão esquematicamente localizados nas áreas funcionais primárias do córtex artificial. São responsáveis por receber, buscar ou extrair os dados necessários do Ambiente Externo. Sensores estão ligados direta ou indiretamente aos objetivos e motivações definidos nas Áreas Funcionais Límbicas. Seres humanos buscam dados, informações e conhecimentos, pelos estímulos recebidos por seus sensores (olhos, ouvidos, boca e

sensores táteis), conforme suas necessidades, objetivos e motivações. De forma similar, no córtex artificial, os sensores são os canais de entrada dos dados segundo o seu contexto de utilização, definidos pelas áreas límbicas (objetivos).

Em sua implementação, os sensores podem se apresentar como dispositivos artificiais (eletrônicos ou eletromecânicos), arquivos digitais, formulários que podem ser preenchidos por humanos (exemplos: formulários eletrônicos, formulários de papel que depois são tabulados), ou até mesmo um motor de busca¹²⁶ (*search engine*). Seja qual for a forma escolhida para a implementação, os sensores devem ser capazes de captar os dados do mundo externo, canalizá-los para dentro do sistema do córtex artificial, mais precisamente para os filtros cognitivos primários, preparando o treinamento e aprendizagem das redes neurais artificiais do córtex.

Impende destacar que, para os sensores capturarem os dados necessários ao aprendizado, pelo menos um conjunto de critérios e contextos já deve existir na área funcional límbica (área que deve funcionar como armazenagem das “aspirações” do córtex artificial). Como o modelo do córtex é idealizado para tomada de decisões complexas, torna-se necessário que o engenheiro (desenvolvedor ou usuário) tenha uma ideia para a sua aplicação, bem como acerca dos objetivos a serem alcançados. A forma pela qual os contextos são inseridos nas áreas límbicas é condicionada pelo tipo de aplicação do modelo proposto, podendo ser dinâmico (crescente ou seletivo) ou estático. As áreas límbicas e suas diferenciações são explicadas mais adiante (Seção 7.2.3).

▪ FILTROS SENSITIVOS PRIMÁRIOS:

Os dados recebidos pelos sensores passam para os filtros sensitivos primários, também localizados conceitualmente entre áreas funcionais primárias do córtex artificial. Esses dados são filtrados, seguindo os critérios de aceitação e validação, tornando-os realmente úteis (válidos) para o processo de aprendizagem (ou até mesmo para o processo de uso) das redes neurais do córtex artificial. Para que o córtex artificial possa entender e utilizar os dados como elementos de entrada nas respectivas redes neurais, os filtros primários realizam um tratamento prévio e fazem conversões de valores. Trata-se de um conjunto de filtros relativamente simples, que possibilitam às

¹²⁶ Programa desenvolvido com o objetivo de buscar palavras-chave fornecidas por usuários em documentos, *websites* e bases de dados através de toda a internet (exemplo: motor de busca do Google – empresa multinacional de serviços online e softwares dos EUA).

redes neurais do córtex artificial entender os dados captados pelos sensores.

Exemplos do uso dos filtros:

- a. Formatos de dados aceitos pelo sistema do córtex artificial.
- b. Os dados de entrada que possuem valores fora da faixa pré-estabelecida, não são válidos;
- c. Valores incompletos não são aceitos.

Pode-se pressupor que, uma vez estabelecidos os critérios de validação, isso raramente irá mudar, entretanto, pode haver casos em que os critérios em relação ao problema de aplicação mudem. Se for esse o caso, torna-se necessária uma nova análise para a recomposição dos filtros.

▪ MEMÓRIA DE DADOS PRIMÁRIA:

A memória de dados primária contém os conjuntos de dados que alimentam as redes neurais, para o treinamento (filtrados) ou uso (extraídos do mundo externo). São os bancos de dados pré-processados pelos filtros primários, ou seja, bem analisados e prontos para serem utilizados pelo córtex (seja no treinamento ou na tomada de decisões). Dados de uso e treinamento são armazenados em estruturas devidamente separadas dentro desta memória.

A forma de desenvolvimento dessa memória ou conjunto de dados (base de dados) pode se dar por meio de sistemas de arquivos (arquivos texto no formato ASCII, planilhas eletrônicas comumente utilizadas, arquivos estruturados do tipo XML¹²⁷ ou outros formatos específicos de arquivo) ou ainda, por sistemas de gerenciamento de bancos de dados¹²⁸ (*DBMS - Database Management Systems*). A escolha do sistema de armazenamento fica a critério do responsável pelo desenvolvimento da sua versão do córtex artificial. Para os sistemas que utilizem o córtex para decisões em tempo real, deve-se levar em conta o tempo necessário á leitura dos dados e resposta pelo sistema. Tal cuidado especial se mostra importante, sobretudo na fase de uso (após os primeiros

¹²⁷ XML, é uma sigla que vem das palavras em inglês *eXtensible Markup Language*. O XML é uma linguagem de marcação recomendada pela W3C (World Wide Web Consortium, principal organização de padronização da *World Wide Web*) para a criação de documentos com dados organizados hierarquicamente, tais como textos, banco de dados ou desenhos vetoriais. É classificada como extensível porque permite definir os elementos de marcação.

¹²⁸ Ferramentas de armazenamento e gerenciamento de dados estruturados de forma relacional, exemplos: MySQL; SQL-Server; Oracle; DB2, Sybase; Interbase, dentre vários outros.

treinamentos). Vale lembrar, também, que o córtex pode exigir ciclos de aprendizagem para se aprimorar (pausas para treinamento em caso de avaliação de eficiência baixa visando à melhoria contínua do conhecimento dada à dinâmica do fenômeno alvo).

7.2.2 ÁREAS FUNCIONAIS SECUNDÁRIAS

As áreas funcionais secundárias estão entre as partes principais do córtex artificial, juntamente com as áreas funcionais terciárias e áreas associativas. Assim como no córtex humano, no córtex artificial as áreas funcionais possuem atividades complementares umas às outras e são, portanto, interdependentes. As áreas citadas merecem destaque, pois são as principais responsáveis pelo processo de aprendizagem.

Recomenda-se que essas partes específicas (as áreas funcionais secundárias) também sejam desenvolvidas como componentes de *software* por questões de facilidade de concepção, testes, manutenção, versatilidade e flexibilidade (ou plasticidade). A plataforma de desenvolvimento ou mesmo a linguagem de programação utilizada é indiferente ao projeto, desde que atendidas as expectativas do engenheiro responsável pelo desenvolvimento do córtex artificial.

As áreas funcionais secundárias se dividem em:

- a. Sensitivas;
- b. Cognitivas;
- c. Emissoras;
- d. Associativas;
- e. Motoras.

▪ SENSITIVAS:

As áreas sensitivas secundárias possuem componentes de extração de dados. Tais componentes realizam as extrações de dados diretamente da memória de dados primária, subdividindo-os nos seus respectivos conjuntos de entradas para cada rede neural artificial correspondente.

A Figura 95 apresenta as áreas sensitivas secundárias extraíndo os dados (já filtrados e tratados) armazenados em suas respectivas bases de dados (representadas pelos cilindros), com o objetivo de alimentar as variáveis de entrada de suas respectivas redes neurais artificiais.

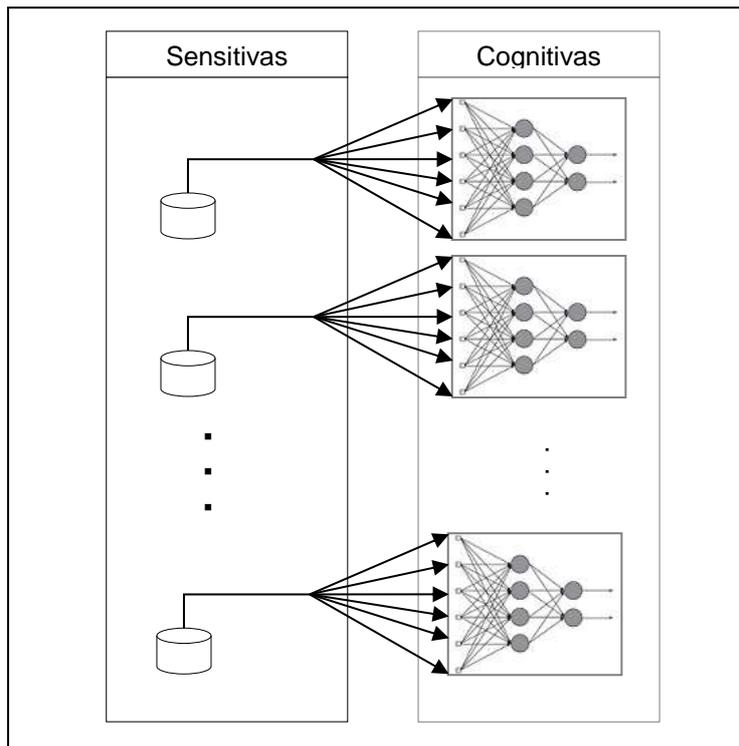


Figura 95: Representação gráfica das áreas sensíveis secundárias.

Os elementos dessa área podem ser desenvolvidos como um conjunto de consultas (*SQL - Structured Query Language* ou Linguagem de Consulta Estruturada, que é a linguagem de pesquisa declarativa padrão para banco de dados relacional, por exemplo) ou rotinas baseadas em leituras e carregamentos de arquivos de dados.

- **COGNITIVAS:**

As áreas secundárias cognitivas são compostas basicamente de redes neurais artificiais paralelas funcionando em cooperação, isto é, as redes aprendem de forma cooperativa e atuam na solução do problema dessa mesma forma (os assuntos aprendizagem cooperativa e cooperação foram apresentados no Capítulo 3).

As redes neurais artificiais do córtex possuem processamento de forma independente, cada uma dentro de sua especialidade. Entretanto, suas saídas possuem forte relação com os contextos e objetivos do córtex artificial. Isso porque cada uma das RNA's desenvolve um conhecimento específico relacionado ao objetivo final do córtex. As características de conhecimento específico, paralelismo e relação com objetivos comuns fazem com que as redes neurais artificiais apresentem uma forma de aprendizagem cooperativa em que as melhores combinações de suas respectivas respostas levam ao alcance dos objetivos do córtex artificial.

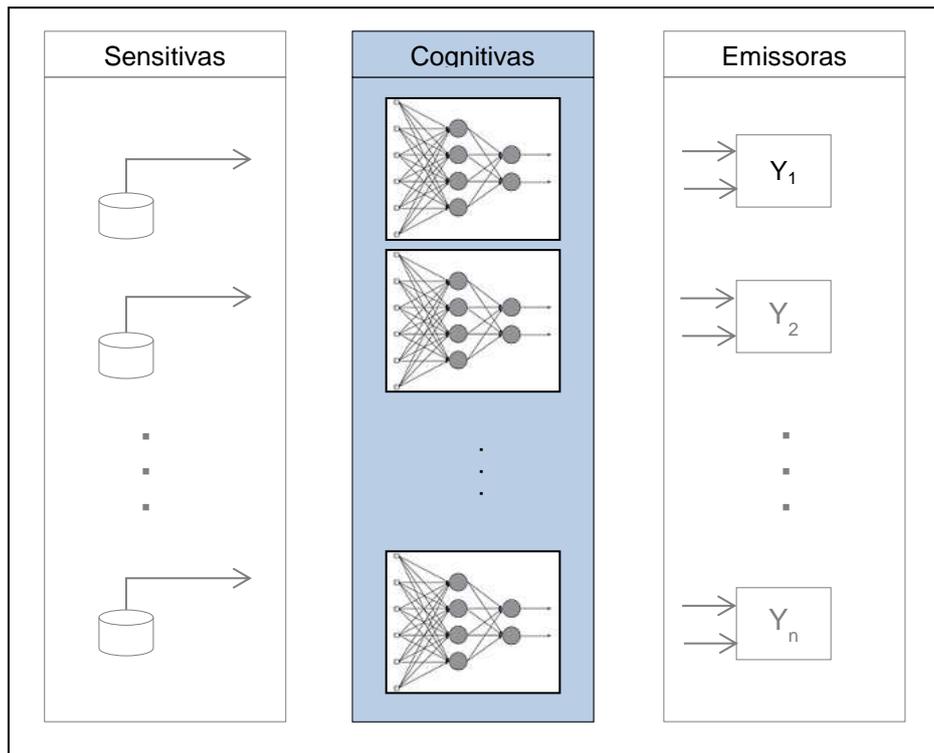


Figura 96: Representação gráfica das áreas cognitivas secundárias.

É oportuno salientar que o modelo conceitual pode utilizar qualquer tipo de rede neural artificial com aprendizado supervisionado. Inclusive, o córtex artificial pode conter, a critério do responsável pelo projeto e segundo as necessidades da aplicação, um misto de tipos de rede neurais artificiais.

Independente do grau de complexidade do problema a ser resolvido, o córtex pode apresentar uma rede para cada fragmento simples, permitindo-o chegar à resolução do problema de forma eficaz. Porém, observe-se que não há uma necessidade específica de se explorar todas as características ou dimensões do problema para se alcançar sua solução (nem todas as informações são relevantes). A quantidade de redes neurais utilizadas no córtex depende de diversos fatores, dentre eles pode-se citar:

- a. Complexidade do problema a ser resolvido;
- b. Granularidade;
- c. Custo de processamento;
- d. Eficácia do córtex ao atingir os objetivos;
- e. Eficiência do córtex ao atingir os objetivos;
- f. Tempo de resposta;
- g. Outros...

O que realmente importa é que as redes sejam bem desenhadas, ou seja, tenham suas entradas e saídas bem definidas e estruturadas (o responsável pela concepção deve realizar os tratamentos de pré e pós-processamento), bem dimensionada, e ser testada em relação ao problema (se realmente tem algum impacto no objetivo final, ou seja, é parte essencial para a solução do problema a qual ela é destinada a resolver).

▪ MEMÓRIAS COGNITIVAS PRIMÁRIAS

As áreas funcionais secundárias cognitivas possuem estruturas primárias de memória que armazenam os padrões (conjunto de valores de sinapses), utilizados pela rede. Essas áreas são denominadas, no contexto do córtex artificial, de memória cognitiva primária ou memória de sinapses. Tal memória faz associação entre os valores de entrada de uma rede neural artificial com os seus respectivos valores de saída. Não é uma novidade. Porém, o modelo de córtex artificial apresenta mais de uma rede. Portanto, torna-se necessário armazenar, além da relação entre entrada e saída e, também, seus respectivos valores de sinapses, a identificação da rede cujos valores são referenciados.

▪ MEMÓRIAS COGNITIVAS SECUNDÁRIAS

As áreas de memórias cognitivas secundárias armazenam os padrões que interferem na eficiência e eficácia das redes neurais. Essa área existe com o intuito de tornar o córtex mais dinâmico, reduzir custo e tempo de processamento e evitar determinadas saídas (efeitos da generalização das redes) que possam influenciar negativamente o resultado esperado pelo uso do córtex artificial. Porém, sem descartar o conhecimento adquirido pela rede.

Cada memória possui a identificação da rede à qual pertence. Sempre que uma rede é treinada, a memória volta para sua estrutura original e depois é testada em uso. Caso permaneça com pouca utilidade, volta para o estado de memória.

A memória (dados que estão temporariamente fora do processamento das redes) pode ser implementada nos mesmos formatos de armazenamento da memória de dados primária, porém sua estruturação é relativamente mais simples. Cada conjunto de dados armazenados possui informações de um padrão de dados da rede que não está sendo bem aproveitado (valores das sinapses) e, também, informações sobre a qual rede pertence. Vale observar que, no caso de armazenamento de um padrão, a estrutura da rede tende a mudar, reduzindo um neurônio da camada intermediária das redes cujos

padrões foram armazenados.

- EMISSORAS:

As áreas funcionais secundárias emissoras possuem a função de receber e interpretar o conjunto de saídas das redes neurais artificiais, convertendo os dados de saída em informação fácil para o sistema de decisão do córtex artificial. São responsáveis, também, por aplicar as saídas das redes neurais artificiais a determinadas regras de regulação de resposta, se necessário. Após realizar todo o processamento, emite o resultado para as áreas funcionais secundárias associativas.

Uma representação gráfica das áreas emissoras é descrita na Figura 97, a seguir. Já a Figura 98, apresenta um exemplo de uso do emissor, porém, é importante ressaltar que não o limita a apenas ao exemplo em questão.

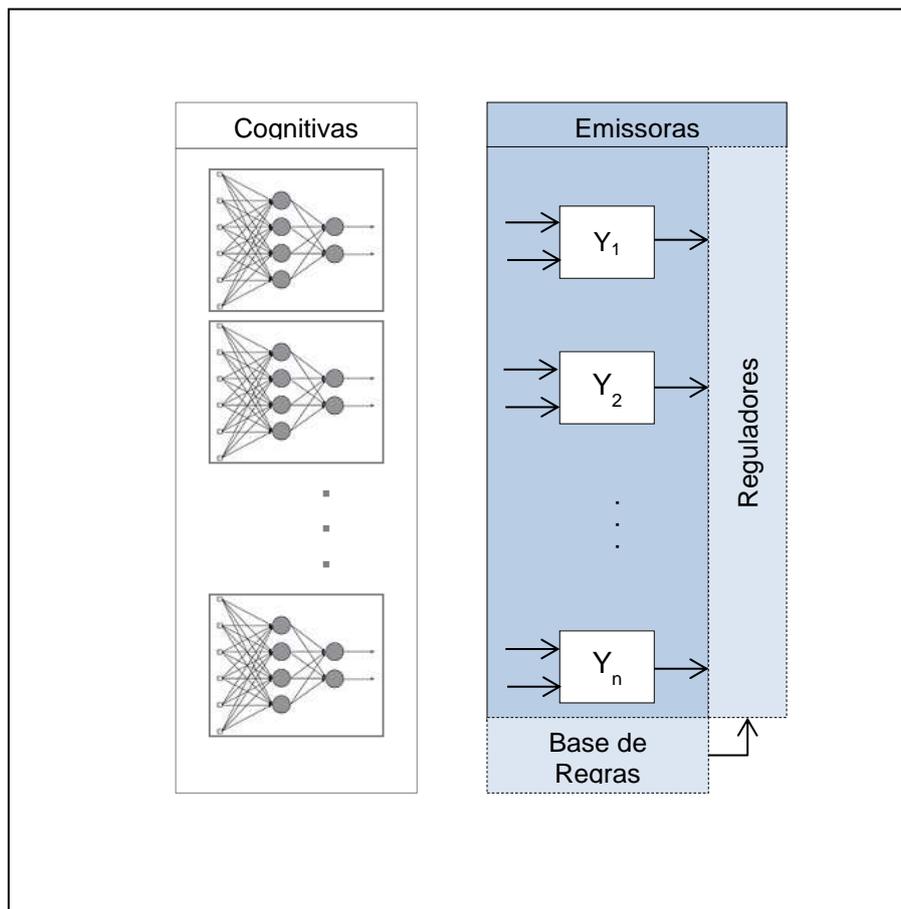


Figura 97: Representação gráfica dos emissores no modelo de córtex artificial.

Supondo que uma rede neural artificial tenha sua saída na forma maximamente esparsa, como mostra a figura a seguir:

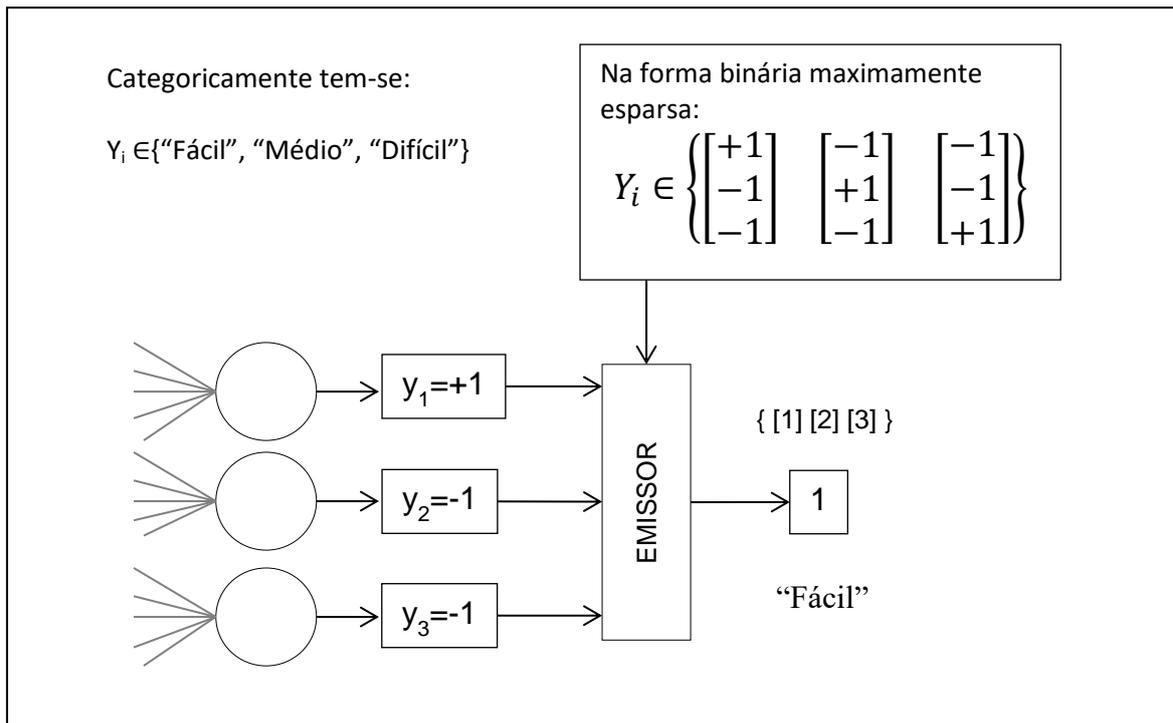


Figura 98: Exemplo de tradução realizada pelo emissor.

A tarefa do emissor facilita a atividade do sistema decisório, especialmente na fase de treinamento.

Os reguladores têm por função aplicar regras que auxiliam na redução de incoerências dos sinais a serem emitidos. Nem todos os resultados fornecidos pelos emissores passam pela avaliação dos reguladores. Os reguladores são acionados em casos específicos, quando incoerências são detectadas na generalização feita pela rede neural artificial. A partir dessas incoerências são criadas regras de verificação e correção no estado de uso e, os dados de correção são utilizados nos próximos ciclos de aprendizagem.

Não há uma forma específica para implementação de um regulador, devendo o engenheiro responsável pelo projeto ficar atento às possíveis incoerências provocadas pela generalização das redes neurais artificiais dentro da fenomenologia.

As regras aplicadas pelos reguladores ficam armazenadas na Base de Regras, uma espécie de memória específica para esse acondicionamento. Essa base é constituída por regras previamente definidas ou aprendidas. Por sua vez, as regras podem ser baseadas em lógica, probabilidade, bases de conhecimentos (como em sistemas especialistas) ou em quaisquer outros tipos referentes aos contextos abordados pelo córtex artificial, ficando a critério do responsável pelo projeto de aplicação. É importante ressaltar o

cuidado necessário na definição das regras de regulação, para não se perder o poder de generalização das redes cujas saídas são reguladas. Vale lembrar que, algumas regras podem ser obtidas pelo processo contido nos Filtros Cognitivos, pertencentes às Áreas Funcionais Terciárias.

- **ÁREAS FUNCIONAIS ASSOCIATIVAS**

As áreas funcionais associativas possuem a função de receber as emissões transmitidas pelas áreas funcionais terciárias, convertê-las em conjuntos de decisões (representados por “D”, na Figura 99).

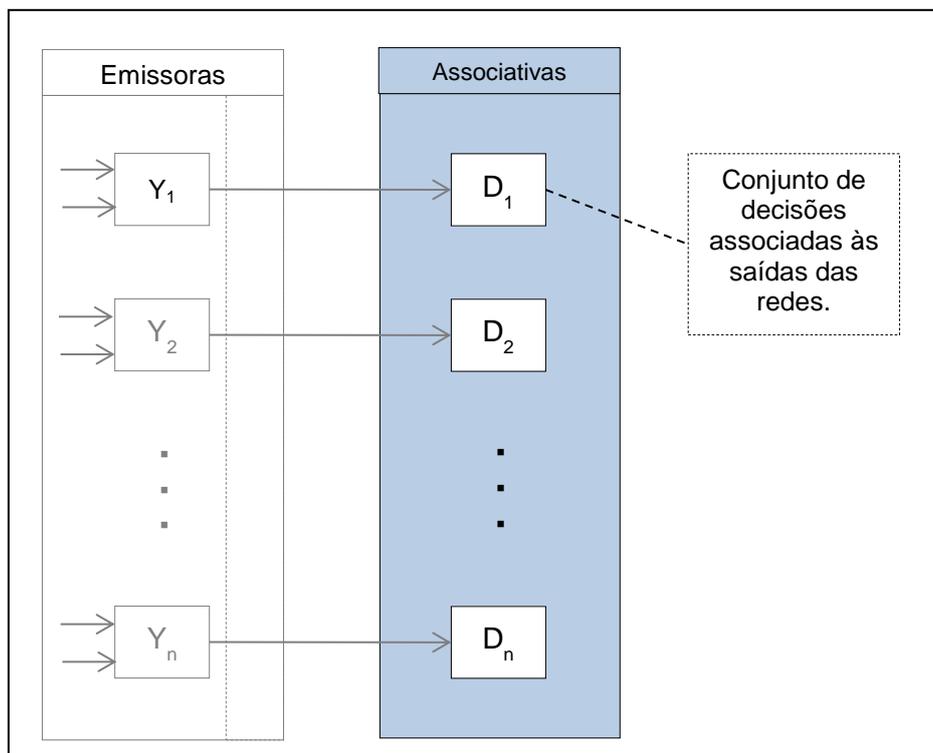


Figura 99: Representação gráfica das áreas cognitivas secundárias.

As decisões obtidas podem ser utilizadas, posteriormente, para determinada ação ou conjunto de ações que responda, ou se aproxime de forma aceitável da resposta, aos objetivos desejados e especificados pelas Áreas Funcionais Límbicas.

- **AREAS FUNCIONAIS MOTORAS:**

As chamadas Áreas Funcionais Motoras traduzem as decisões traduzem as decisões dos conjuntos (pode ser caso-a-caso) para um conjunto de acionadores de dispositivos motores, isto é, a implementação dessa área é exclusivamente voltada para sistemas mecatrônicos.

7.2.3 ÁREAS FUNCIONAIS TERCIÁRIAS

As funções superiores do córtex artificial são constituídas pelas Áreas Funcionais Terciárias. De forma figurada, é um modo de emular a motivação, desejo ou objetivo de aprendizado, inclusive, com uma autoavaliação sobre o contexto ou fenômeno que o envolve.

Com base na observação anterior, as áreas de objetivos, pelos critérios de satisfação e aquisição de novos conhecimentos em relação ao córtex artificial.

As áreas funcionais terciárias devem funcionar como: “ter interesse em algo” ou “ter desejo de aprender algo”, determinando a necessidade dos ciclos de aprendizagem. Elas armazenam os objetivos a serem alcançados e, conseqüentemente, definem os contextos tratados pelo córtex artificial.

Conceitualmente, essa área do córtex artificial permite que os contextos inseridos possam apresentar características dinâmicas (de forma crescente ou seletiva) ou estáticas, sendo que:

- a. **O sistema estático** recebe contextos e objetivos específicos, critérios de avaliação e não os altera no decorrer do tempo (uso do córtex artificial). Este modelo pode ser desenvolvido para decisões específicas, não ampliando o escopo de decisão a outros contextos; isto é, ele não “se interessa” por outros contextos a não ser os pré-determinados.
- b. **O sistema dinâmico seletivo** “percebe” o ambiente (fenômenos ou eventos) e desenvolve “interesse” por itens (dados) relacionados aos contextos pré-estabelecidos e, também, relacionados a outros contextos estritamente próximos. Regras de associação para esse tipo de percepção devem ser inseridas como critérios do filtro cognitivo primário, relacionando o contexto pré-estabelecido com as novas percepções.
- c. **O sistema dinâmico crescente** “percebe” o que há de diferente no fenômeno ambiente e “desenvolve o interesse” em novos conhecimentos (novos objetivos), isto é, determina

um alvo de conhecimento e depois determina qual o objetivo, sobre esse conhecimento, quer atingir. Por conseguinte, a “necessidade” de adquirir conhecimento tende a crescer e, eventualmente, pode começar a desenvolver, por meio de possíveis combinações das áreas secundárias, terciárias e decisórias, novas decisões, com base em seus novos conhecimentos.

Resumidamente, os objetivos a serem alcançados são representados por indicadores com seus respectivos valores. Esses valores são julgados pelas áreas de avaliação das áreas funcionais límbicas, fazendo com que o córtex artificial, dessa forma, avalie seu próprio conhecimento sobre o contexto que está tentando aprender.

As áreas funcionais terciárias se dividem em:

- a. Área de objetivos;
- b. Memória comportamental;
- c. Área de avaliação de eficácia;
- d. Área de avaliação de eficiência;
- e. Filtros cognitivos.

▪ **ÁREA DE OBJETIVOS:**

Área do córtex artificial que tem por finalidade armazenar (como uma base de dados) os contextos e conjuntos de objetivos a serem alcançados pelo trabalho de todo o córtex artificial. Geralmente é composta por um conjunto de indicadores (variáveis específicas) para cada contexto tratado pelo córtex artificial, juntamente com os critérios de aceitação mínima (valores mínimos) para esses indicadores.

▪ **MEMÓRIA COMPORTAMENTAL:**

A memória comportamental é a área responsável por armazenar os dados, conhecimentos sobre os contextos, fenômenos ou eventos sobre os quais o córtex está sendo utilizado. É a partir da análise dos dados armazenados nessa área que se identificam, por avaliações de eficácia e eficiência, as melhores combinações de decisões para a formação da massa de dados de treinamento, utilizada nos ciclos de aprendizagem.

As informações armazenadas nessa memória são submetidas ao filtro cognitivo

secundário, com o intuito de realimentar a Memória de Dados Primária. O objetivo é o treinamento das redes do córtex artificial, finalizando um ciclo de aprendizado e, desta forma, permitindo ao córtex iniciar um novo ciclo.

Como a intenção é estabelecer uma curva de aprendizagem crescente para o córtex artificial, torna-se necessário avaliar o seu aprendizado. A aferição do aprendizado do córtex é feita por dois tipos de avaliações, tema de que se trata adiante.

▪ ÁREA DE AVALIAÇÃO DE EFICÁCIA

Dispositivos internos do córtex verificam se seus objetivos foram atingidos ou superados, procedendo a uma avaliação (comparação entre resultado obtido e o esperado). A área responsável pela avaliação de eficácia do córtex no alcance de seus objetivos é denominada Área de Avaliação de Eficácia. Por meio dessa avaliação, que marca o final de um ciclo de uso do córtex, é dado saber se o sistema está “satisfeito”, ou seja, se atingiu os objetivos “almejados”. Caso contrário, dá-se início a um novo ciclo de aprendizagem.

É possível observar que quanto mais complexos os casos de utilização (problemas), mais variáveis são suas características no decorrer do tempo. Nos casos em que são alteradas com frequência as propriedades delimitadoras do fenômeno, no contexto do córtex artificial, torna-se necessário o aprendizado contínuo. Portanto, a avaliação de eficácia é um desses dispositivos que possibilita a verificação e, também, inicialização de um novo ciclo de aprendizagem, caso seja necessário.

▪ ÁREA DE AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA

Embora, muitos autores (em especial de livros de administração) tratem “eficácia” e “eficiência” como palavras sinônimas, o córtex artificial trata tais termos com distinção. Para o modelo conceitual do córtex, o termo “eficácia” é admitido como a capacidade de atingir os objetivos, enquanto que o termo “eficiência” se refere ao fato de atingir o objetivo com um menor esforço (menor quantidade de ações necessárias). Esse processo remete a uma avaliação de aprendizado por tentativa e erro, porém, serve de refino ao processo de atuação do córtex no aprendizado da solução do problema ao qual é destinado.

As decisões e ações dessas avaliações de eficiência não são totalmente executadas em tempo real de utilização do córtex (contabilizadas quando as redes neurais artificiais

estão em fase de uso). Porém, a avaliação é realizada ao final de cada ciclo de aprendizagem (uso) e é utilizada para auxiliar o Filtro Cognitivo Secundário, na formação de uma nova base de conhecimento para o treinamento das redes neurais artificiais das Áreas Funcionais Secundárias.

▪ **FILTROS COGNITIVOS:**

Os filtros cognitivos primários são baseados em uma série de testes e procedimentos resultantes de um pré-processamento dos dados (como por exemplo: procedimentos matemáticos, estatísticos, entre outros). É importante ressaltar que o filtro serve para preparar os dados para o treinamento das redes neurais do córtex artificial.

Como exemplos de procedimentos de pré-processamento tem-se:

- a. Análise de dependência ou independência estatística entre variáveis;
- b. Parametrização de variáveis;
- c. Compactação;
- d. Normalização;
- e. Outros, etc...

Geralmente, os procedimentos supracitados são realizados pelos analistas de dados responsáveis pelos experimentos. Além de conhecimentos específicos, tais analistas podem contar com o uso de ferramentas computacionais de *software* já bem estabelecidas e conhecidas (tais como: R, SPSS, MATLAB, MINITAB, entre outros – programas de computador que permitem realizar análises de dados, programação e alguns procedimentos mais avançados, como no caso do MATLAB). Porém, podem ser, com relativo trabalho de programação de *software* (não importando a linguagem computacional), desenvolvidos como um sistema determinístico, justamente por se tratar de um conjunto de procedimentos comumente aplicados (funções matemáticas e estatísticas bem conhecidas).

O desenvolvimento das técnicas de análise na forma de *software* dá ao córtex artificial certa independência (independência física para implementação de novas regras, por exemplo), além de permitir a evolução gradual do tratamento e análise de dados. Mesmo com a automação do processo, não deve haver a intenção e/ou pretensão de tirar os especialistas humanos da equação. Acredita-se que são necessários para monitorar e

avaliar o comportamento deste componente do sistema (especialmente por saber que entradas erradas geram respostas erradas). A atuação humana também pode prover correções tanto nos dados quanto nos procedimentos, caso necessário. Pelo menos até o sistema estar devidamente equilibrado.

Da mesma forma como ocorre nas regras dos filtros sensitivos primários, o fenômeno deve ser observado continuamente para que seja possível a adaptação das regras de filtro, caso haja necessidade. Isso porque o modelo prevê ser dinâmico o problema ou fenômeno a ser trabalhado pelo córtex.

7.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE POSSÍVEIS IMPLEMENTAÇÕES

Como mencionado nos Capítulos 1 e 4, o tema do presente trabalho se enquadra como linha de pesquisa em sistemas inteligentes, ou mais especificamente aprendizagem de máquina. A aprendizagem de máquina é classificada como disciplina pertencente à Engenharia Elétrica, habilitação específica de Engenharia. Segundo o Dicionário Aurélio (FERREIRA, 2000), engenharia é a aplicação de conhecimentos científicos e empíricos, e certas habilitações específicas, à criação de estruturas, dispositivos e processos para converter recursos naturais em formas adequadas ao atendimento das necessidades humanas.

Observando a definição supramencionada, é difícil dissociar uma disciplina de Engenharia da construção de algo com a qual ela se relaciona e, com base nessa afirmação, torna-se necessário explorar a possibilidade de desenvolvimento do modelo citado. Portanto, a seguir são apresentadas algumas considerações sobre possíveis aplicações do modelo de córtex artificial descrito na seção anterior.

Vale ressaltar que existe a possibilidade do desenvolvimento físico (através de componentes eletrônicos de *hardware*) de partes do modelo, como, por exemplo: sensores, sistema de decisão da área funcional motora (robótica), entre outras partes. Porém, recomenda-se que as áreas funcionais sejam o mais plásticas, no sentido de serem flexíveis e permitirem fácil alteração de seus estados, quanto possível, dentro do contexto de utilização do córtex. A ideia é simular também a plasticidade do cérebro no processo de aprendizagem e, desta forma, permitir o aprendizado constante por parte do córtex artificial (dependendo da dinâmica do fenômeno no qual é aplicado). Portanto,

orienta-se que as áreas primárias de filtro secundário e memória; áreas secundárias e terciárias como um todo e áreas funcionais límbicas sejam constituídas de forma lógica (*software*).

O próprio cerne (áreas funcionais secundárias) do córtex artificial proposto pode ser constituído em forma de hardware. O principal diferencial a forma de interligação dos transistores, isto é, os transistores se conectam de maneira parecida aos neurônios, formando sinapses em cada núcleo (cada núcleo seria como uma rede neural). Porém, com a análise da iniciativa da IBM nesse campo, com seu projeto denominado de “TrueNorth”, não se vê grande vantagem de viabilidade de construção dadas as limitações do projeto (MODHA, 2008) .

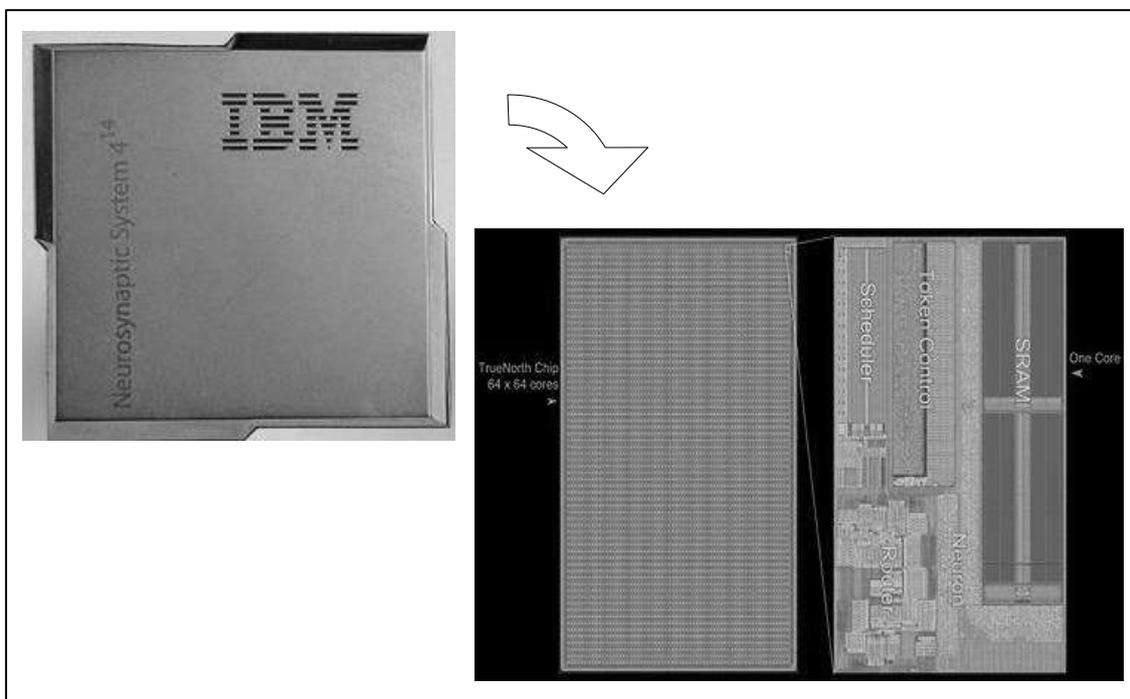


Figura 100: Projeto TrueNorth da IBM®.

Embora o Projeto TrueNorth (MODHA, 2008) tenha alcançado bom desempenho energético (em torno de 70 miliwatts), e também eficácia em aplicações ditas sensoriais (reconhecimento de imagens e sons), ainda não possui a mesma eficiência dos processadores atuais e, ainda pode sofrer limitações de plasticidade em relação à sua arquitetura, dependendo da complexidade do problema a ser resolvido. Além disso, necessita de *softwares* bem específicos para o seu uso.

Com base no que já foi exposto, o modelo de córtex artificial proposto pode ser constituído como um sistema híbrido, sendo que algumas de suas áreas funcionais

poderiam ser desenvolvidas como hardware, outras como sistemas especialistas, outras como sistemas conexionistas, outras partes constituídas apenas de software comum, por se tratarem de procedimentos simples como aplicação de fórmulas e transformadas matemática sobre os dados, entre outros procedimentos comuns em análise de dados.

Para efeito de testes, tentando viabilizar ao máximo a concepção do modelo (financeiramente, tecnicamente e em relação a prazos), recomenda-se que, pelo menos inicialmente, algumas partes sejam executadas pelos especialistas humanos, executores do projeto (como, por exemplo, as atividades das áreas primárias que envolvam análise dos dados). Outras partes, como sensores eletrônicos, por exemplo, podem ser inicialmente substituídos por simulações com o uso de *softwares*.

É importante também levar em conta a possibilidade de implementação do modelo como um sistema distribuído e, em algumas áreas funcionais como sistema paralelo.

7.4 PARALELISMO COMPUTACIONAL DO MODELO

As áreas funcionais do cérebro humano atuam de forma paralela, isto é, todas elas funcionam ao mesmo tempo processando constantemente as informações. De forma similar, isso pode ser aplicado ao modelo.

A paralelização é uma importante característica do modelo de córtex artificial proposto, isto é, a possibilidade de desenvolvimento mediante uso de computação paralela (forma de computação em que vários algoritmos são realizados ao mesmo tempo). Opera sob o princípio de que problemas geralmente podem ser fracionados em problemas menores, a serem resolvidos em paralelo (concorrentemente). Essa característica pode ser de grande valor para situações que exijam, do córtex artificial, a tomada de decisões em tempo real.

Vale ressaltar que técnicas de paralelismo já são empregadas por vários anos, principalmente na computação de alto desempenho, mas recentemente o interesse no tema cresceu devido às limitações físicas que previnem o aumento de frequência de processamento. OWENS *et al.* (2008), afirma que o paralelismo é o futuro da computação, e que nos últimos anos, tem havido crescente aumento no desempenho e na capacidade de processamento (especialmente no processamento gráfico – GPU - *Graphics Processing Unit*, ou Unidades de Processamento Gráfico – por exigir

respostas rápidas), acompanhado por uma comunidade de pesquisa que tem mapeado, com sucesso, uma gama de problemas complexos e computacionalmente exigentes, os quais usam referida arquitetura.

Tradicionalmente, o *software* tem sido escrito para ser executado sequencialmente. Isto é, para resolver um problema, um algoritmo é construído como um fluxo de instruções em série. Tais instruções são então executadas por uma unidade central de processamento de um computador (CPU – *Central Processing Unit*). Somente uma instrução pode ser executada por vez; após sua execução (em sua fatia de tempo – *time slice* – geralmente controlada por um sistema operacional), a próxima então é executada, de acordo com MACHADO E MAIA (1995).

Em contrapartida, a chamada computação paralela faz uso de múltiplos elementos de processamento simultaneamente para resolver um problema. Isso é possível ao quebrar um problema em partes independentes de forma que cada elemento de processamento pode executar sua parte do algoritmo simultaneamente com outros. A vantagem desse tipo de computação é que os elementos de processamento podem ser diversos e incluir recursos como um único computador com múltiplos processadores, diversos computadores em rede, *hardware* especializado ou qualquer combinação dos anteriores.

O aumento da frequência de processamento foi um dos principais motivos para melhorar o desempenho dos computadores no período que compreende de 1980 a 2004, de acordo com PATTERSON (2014). Com o aumento da preocupação do consumo de energia dos computadores, a computação paralela se tornou o paradigma dominante nas arquiteturas de computadores, podendo ser constatada pelo aumento de processadores contendo múltiplos núcleos.

O tempo de execução de um programa corresponde ao número de instruções multiplicado pelo tempo médio de execução por instrução. Mantendo todo o resto constante, aumentar a frequência de processamento de um computador reduz o tempo médio para executar uma instrução, reduzindo então o tempo de execução para todos os programas que exigem alta taxa de processamento, de acordo com PATTERSON (2014).

O consumo de energia de um processador é dado pela equação:

$$P = C.V^2.f \quad (19)$$

Onde P é a potência desempenhada pelo processador, C é a capacitância sendo trocada por ciclo de *clock* (proporcional ao número de transistores cujas entradas mudam), V é a tensão e f é a frequência (ciclos por segundo). A energia total gasta é obtida por:

$$E = P.t \quad (20)$$

Onde t é o tempo em que o processador fica ativo e encarregado do processamento, segundo (RABEY *et al.*, 2003).

Programas de computador paralelos são mais difíceis de programar que sequenciais, segundo PATTERSON (2014), pois a concorrência introduz diversas novas classes de defeitos potenciais, como a condição de corrida. A comunicação e a sincronização entre diferentes subtarefas são os maiores obstáculos ao bom desempenho de programas paralelos. Entretanto, as redes neurais artificiais por si só já são baseadas em paralelismo e, pensando em diversas redes neurais artificiais simples, treinando (ou sendo usadas) em paralelo e de forma independente para melhorar seu desempenho em relação ao resultado final da cooperação aparenta ser bastante apropriado para resolver problemas bastante complexos em tempo real.

Embora o experimento que se apresenta no Capítulo 9 utilize apenas 3 redes neurais, o modelo conceitual do córtex artificial proposto aceita quantas redes forem necessárias para o alcance de seus objetivos finais.

Observando-se as mudanças de estado do córtex artificial, o sistema aparenta ter uma sequência rígida entre treinamento e uso. Porém, mesmo para a primeira utilização do córtex artificial isso poderá ser paralelizado, pois poderão ser utilizadas várias redes neurais, passíveis de utilização em paralelo.

Quando o córtex artificial estiver realizando seus ciclos de aprendizagem e, claro, se houver necessidade, o treinamento pode ser orientado para outros dispositivos (processadores) sem que o uso seja interrompido. Com a paralelização há a possibilidade de nem haver interrupção para atualização dos novos valores das sinapses neurais – isso pode ocorrer bem rapidamente, dependendo da tecnologia utilizada (por exemplo, redirecionando o uso para dispositivos com as redes já atualizadas).

O aumento da velocidade por resultado de paralelismo é dado pela Lei de

Amdahl¹²⁹, usada para encontrar a máxima melhora esperada para um sistema em geral, mesmo quando uma única parte sua é melhorada. Em computação paralela, essa fórmula é usada para prever o máximo *speedup* usando múltiplos processadores. O *speedup* de um programa usando múltiplos processadores em computação paralela é limitado pelo tempo necessário para o processamento da fração sequencial de um programa. O *speedup* é definido pela relação entre o tempo gasto para executar uma tarefa com um único processador e o tempo gasto com n processadores, conforme mostra a Equação 21, servindo de indicador de medida do ganho em tempo em computação paralela (que, como já mencionado, é importante para sistemas que requerem respostas em tempo real). As equações para cálculo do *speedup* são exibidas a seguir.

$$S = \frac{T(1)}{T(n)} \quad (21)$$

Sendo $n \in \mathbb{N}$, o número de *threads* (partes de um programa paralelizável) em execução e $B \in [0, 1]$, fração de um algoritmo estritamente serial (que só pode ser executado em ordem sequencial). O tempo $T(n)$ que um algoritmo demora em executar n *thread(s)* corresponde a:

$$T(n) = T(1) \left(B + \frac{1}{n}(1 - B) \right) \quad (22)$$

Assim, o *speedup* $S(n)$ que pode ser obtido também pela Equação 23, a seguir:

$$S(n) = \frac{T(1)}{T(n)} = \frac{T(1)}{T(1) \left(B + \frac{1}{n}(1 - B) \right)} = \frac{1}{B + \frac{1}{n}(1 - B)} \quad (23)$$

O cálculo do *speedup* pode ser útil caso o responsável pelo experimento com o córtex artificial queira medir a eficiência em relação ao tempo de resposta, comparando com a forma tradicional de programação, permitindo descobrir qual pode ser o ganho de tempo com a paralelização. Por exemplo, supondo-se que o engenheiro responsável pela implementação do córtex artificial consiga que 60% do programa sejam executados de forma paralela (enquanto 40% sejam ainda sequencial), o *speedup* da versão paralelizada é $1/(1-0,6) = 2,5$ vezes mais rápido que a versão não paralelizada.

¹²⁹ Possui o nome do arquiteto computacional Gene Amdahl (1922-2015), e foi apresentada a AFIPS na Conferência Conjunta de Informática na primavera de 1967.

Portanto, a paralelização permite a construção de um sistema mais rápido e também mais econômico. Com base nessa observação, vale ressaltar que quase todo o córtex pode ser paralelizado, o que o torna um sistema com processamento computacional eficiente.

7.5 MÚTIPLAS CÓRTICES

É possível constituir um sistema com múltiplas córtices (multi córtex), em que cada córtex seja especializado em uma função, mas todos visando a uma mesma funcionalidade, ou que trabalhem de forma complementar.

Conforme apresentado no Capítulo 2, o cérebro humano apresenta várias córtices, como por exemplo, o córtex visual e o córtex auditivo, cada qual com suas subdivisões internas e respectivas funções. Foi mencionado também que a construção do conhecimento (aprendizagem) se baseia no uso conjunto desses córtices no processamento de diversos dados.

Tomando o exemplo dos supracitados córtices (visual e auditivo), convertendo-os para córtices artificiais, pode-se imaginar um uso de vital importância no auxílio a tomada de decisões críticas. Como por exemplo, o caso de uso a seguir:

▪ EXEMPLO DE CASO DE USO 1:

Em uma situação hipotética, imagine que Marinha Brasileira necessite de um sistema para auxílio na identificação de embarcações. Além da identificação com uso de sonar (um córtex sonar), tem-se disponível, a identificação visual por satélite (córtex de visão superior) e identificação visual à distância.

Para a solução do caso de uso acima, pode-se ter dois córtices trabalhando como classificadores. Um córtex trabalharia com sinais sonoros (sonar). O córtex visual poderia utilizar várias redes, cada qual com uma técnica diferenciada para identificação e classificação de imagens, como por exemplo, uso de coordenada polar em uma das redes com o intuito de se obter sensibilidade de rotação do objeto observado. Se uma das redes identificar corretamente (levando-se em conta seu indicador de eficácia) reforçará o aprendizado das demais (aprendizagem cooperativa), reduzindo a necessidade de grandes quantidades de exemplos.

CAPÍTULO 8: SISTEMA PROPOSTO

*“Jamais tento ensinar algo a meus alunos.
Tento apenas criar um ambiente em que eles
possam aprender.”*

(Albert Einstein)

8.1 INTRODUÇÃO

Conforme mencionado anteriormente, o trabalho visa apresentar uma abordagem de *machine learning*. Assim, com sua arquitetura híbrida (apresentada no Capítulo 7), o modelo de córtex artificial, se volta para o propósito de resolver problemas considerados complexos.

Para testar o modelo, faz-se necessário estabelecer, previamente, tanto um desafio, quanto a aplicação do córtex artificial em sua solução. Como explicado no Capítulo 1, o problema escolhido pauta o processo de ensino-aprendizagem, por sua complexidade e necessidade de estratégias de ensino individuais. Portanto, para resolver o problema, torna-se necessário o desenvolvimento de uma ferramenta pela qual o córtex artificial possa atuar de forma a tornar esse processo eficiente, flexível, personalizado e eficaz. Tal ferramenta se apresenta na forma de um sistema tutor inteligente com características de jogos digitais que, em seu arcabouço, contém uma implementação do córtex artificial.

Para garantir o sucesso do experimento, ressalte-se, o sistema a ser proposto para o teste do córtex artificial deve ser concebido com bastante cuidado. Essa cautela visa buscar melhor aproveitamento dos dados coletados, bem como minimizar desperdício de tempo e recursos.

Outra observação importante, é que o presente trabalho aborda apenas a construção lógica de todo o sistema por meio de um ambiente computacional, deixando para explorar construções físicas (circuitos, sensores e motores) em trabalhos futuros.

Apenas para efeito de informação, embora o projeto utilize a nomenclatura técnica *STIHAC-BJD v3.2.15* (referente a Sistema Tutor Inteligente Híbrido com Aprendizagem Cooperativa e Baseado em Jogos Digitais), este capítulo, bem como parte do sistema, utiliza da designação “*GameCoop*”, com o intuito facilitar sua apresentação.

O presente capítulo está organizado da seguinte maneira: na Seção 8.2, são expostas algumas das principais características analisadas para o desenvolvimento do sistema tutor proposto. A Seção 8.3 contém a análise de público alvo em conjunto com uma breve análise de suas necessidades. A Seção 8.4 apresenta a definição de conteúdo do STI. Na Seção 8.5 é apresentada a metodologia de ensino e de avaliação utilizada. A Seção 8.6 oferece uma visão da arquitetura do sistema tutor. A Seção 8.7 mostra o desenvolvimento dos componentes de jogos digitais para o STI. A Seção 8.8 apresenta a adequação do córtex artificial ao tutor. O funcionamento do sistema é brevemente apresentado na Seção 8.9. A Seção 8.10 descreve brevemente a dinâmica do jogo. E, finalmente, a Seção 8.10 explica sobre ferramentas e considerações técnicas a respeito do desenvolvimento do STI.

8.2 PESQUISA PRELIMINAR

Antes de se iniciar desenvolvimento do sistema tutor inteligente proposto, uma pesquisa foi realizada com o intuito de verificar a possível aceitação de tal sistema pelo público em geral e, em especial com aqueles que já tenham certa familiaridade com tecnologias, móveis, de redes sociais e afins.

Impende frisar que a pesquisa foi executada por meio de uma ferramenta (programa aplicativo) desenvolvida pela empresa canadense Code Rubik Inc., disponibilizada em várias línguas e denominada, no Brasil, de “Enquetes para Facebook”. A referida ferramenta de pesquisa tem seu funcionamento vinculado à rede social Facebook¹³⁰ (rede social escolhida pela sua popularidade). A estrutura do

¹³⁰ Rede social lançada em 4 de fevereiro de 2004, propriedade privada da Facebook Inc., atingiu, em 4 de outubro de 2012, a marca de 1 bilhão de usuários ativos, sendo, por isso, considerada a maior rede social em todo o mundo. O nome forte por trás do Facebook é do CEO Mark Elliot Zuckerberg. Nascido em White Plains em 14 de maio de 1984, Zuckerberg é um programador e empresário norte-americano, que ficou internacionalmente conhecido por ser um dos fundadores do Facebook.

questionário, desenvolvido na ferramenta citada e utilizado na pesquisa, está disponível no Apêndice 1 do presente trabalho. Os gráficos apresentados ao longo da seção, também são gerados pela própria ferramenta.

Conforme é apresentada, a análise dos resultados da pesquisa¹³¹ justifica e mostra-se decisiva para o desenvolvimento do sistema proposto, influenciando, inclusive, na escolha do conteúdo e do público alvo.

Observa-se, por meio da Figura 101, que 1259 visitantes se submeteram à pesquisa, porém, apenas 831 (representando 66% do total) dos indivíduos responderam todo o questionário. Dos 831 indivíduos, 33% são do sexo feminino e 67% do sexo masculino. Quanto à faixa etária, 49% dos indivíduos estão na faixa de 15 a 25 anos, 26% estão na faixa de 26 a 35 anos, 17% estão na faixa de 36 a 45 anos e, apenas 8% dos indivíduos que participaram possuem mais de 45 anos de idade. Quanto ao meio de acesso 71% acessaram via computador e 29% por algum outro tipo de dispositivo móvel. O tempo médio de resposta foi de dois minutos e dezenove segundos.



Figura 101: Informações sobre o perfil dos participantes da pesquisa

A seguir são apresentados os gráficos, acompanhados de seus respectivos

¹³¹ A pesquisa preliminar foi executada no início do ano de 2013. Em 2015, ela foi reativada para que o pesquisador pudesse perceber alguma tendência. Foram observadas poucas mudanças não significativas (aproximadamente 2 pontos percentuais em alguns itens).

percentuais, obtidos em cada uma das respostas do questionário. A divisão em duas partes se dá com o intuito de facilitar o acompanhamento das explicações, de maneira que a análise dos resultados provenientes das questões enumeradas de 1 a 4 é apresentada na primeira parte e, na segunda parte são apresentados os resultados provenientes das questões enumeradas de 5 a 10, seguindo a ordem do questionário da pesquisa.

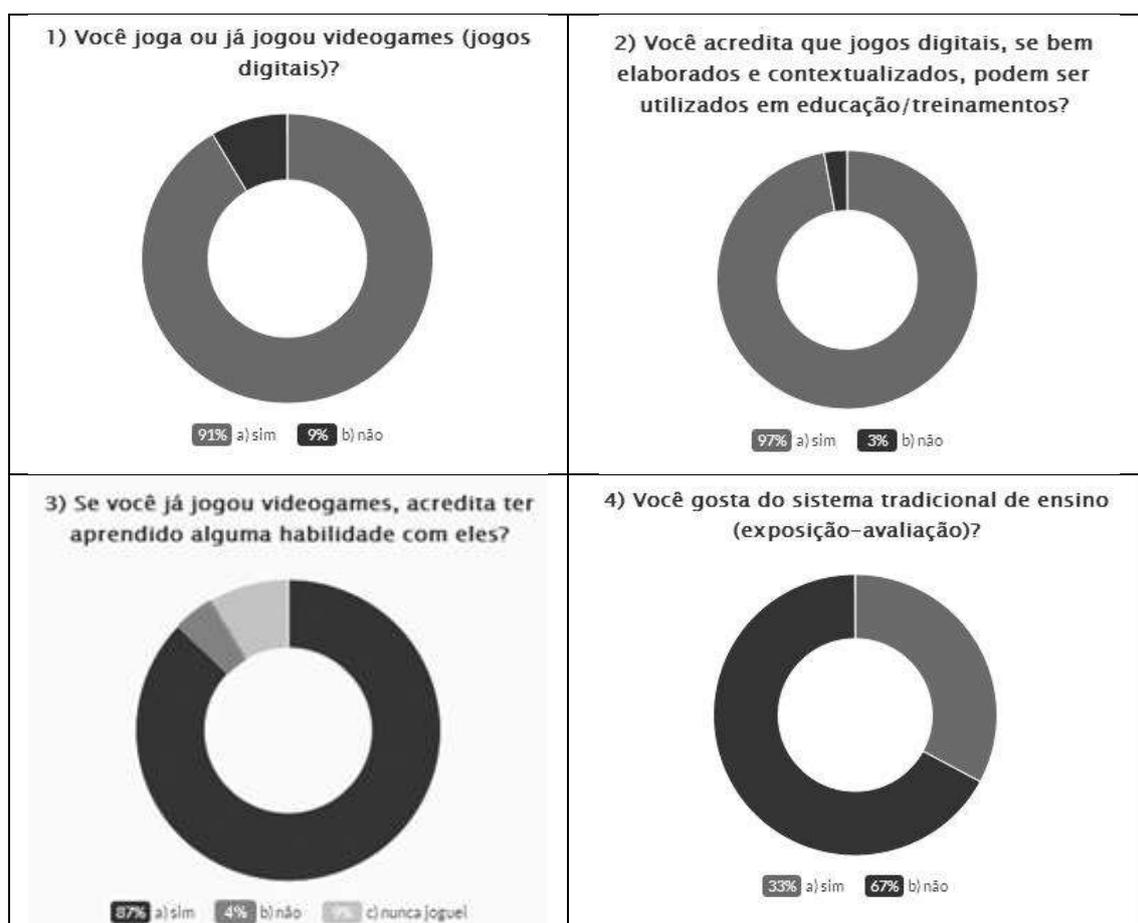


Figura 102: Percentuais obtidos na pesquisa preliminar (q.1-4).

É possível observar que 91% dos participantes tiveram alguma experiência com jogos digitais, enquanto 9% não tiveram acesso a jogos digitais. Ao analisar as respostas negativas, ainda da primeira questão, constata-se que as mesmas correspondem às pessoas nas faixas etárias faixa de 36 a 45 anos e acima de 45 anos. A partir das respostas obtidas na segunda questão, é possível observar que 97% dos participantes acreditam que jogos podem ser utilizados em educação. Isso evidencia que, mesmo pessoas que nunca fizeram uso de jogos digitais acreditam em seu potencial educativo. Das respostas à questão 3 obtém-se que, 87% acreditam ter aprendido alguma habilidade jogando, enquanto que 4% não acreditam nessa possibilidade, o restante

corresponde aos 9% que nunca jogaram. Na quarta questão, referente ao tipo de ensino, 33% afirmaram gostar do ensino tradicional (exposição-avaliação), enquanto 67% disseram não gostar dessa modalidade.

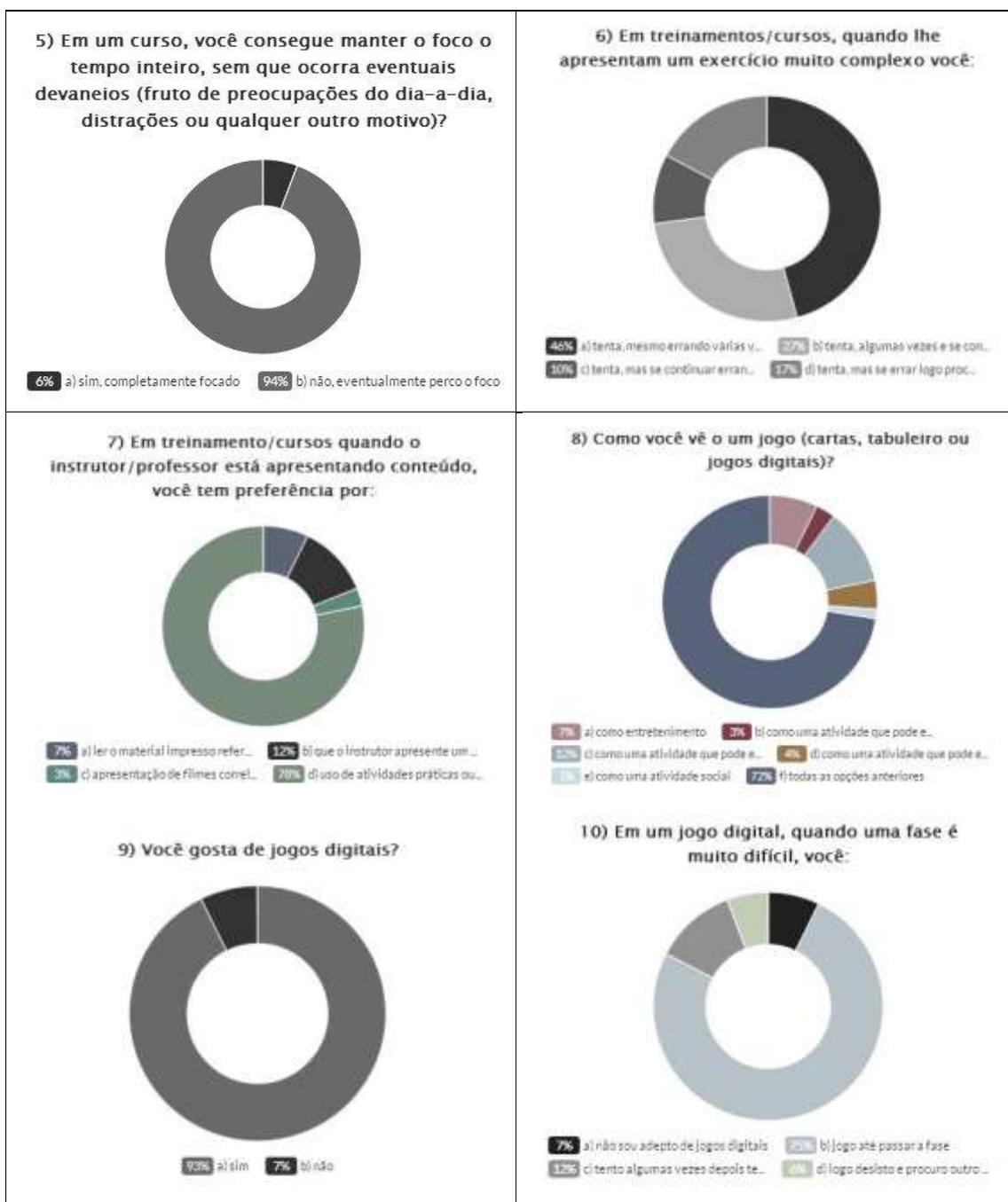


Figura 103: Percentuais obtidos na pesquisa preliminar (q. 5-10).

Quando questionados sobre a atenção ao conteúdo durante um curso ou treinamento, apenas 6% disseram que conseguem ficar focados, enquanto 94% afirmaram perder o foco por algum motivo.

Em um treinamento ou curso, quando se deparam com exercícios complexos, 46% tentam resolver, mesmo errando várias vezes até acertar, 27% tentam resolver algumas vezes e, se continuarem errando deixam para depois. 10% do público pesquisado tentam, perdem o interesse se continuarem errando. Por fim, 17% tentam resolver, mas se erraram logo procuram ajuda.

Quanto à preferência sobre a forma de receber e perceber o conteúdo, 7% preferem ler o material impresso referente ao conteúdo, 12% dos participantes preferem que o instrutor ou professor apresente um texto seguido da explicação, 3% optam apresentação de filmes correlacionados ao conteúdo a ser aprendido e 78% se disseram mais confortáveis com o uso de atividades práticas ou dinâmicas que reforçam o conteúdo.

A questão oito tem um intuito de analisar a percepção do indivíduo em relação a jogos de uma maneira geral. Dentre os indivíduos que participaram da pesquisa, 7% percebem o jogo apenas como uma atividade de entretenimento, 3% percebem como uma atividade que pode ensinar sobre seguir regras, 12% percebem como uma atividade que pode ensinar habilidades, 4% percebem como uma atividade que pode ensinar conteúdos, 2% percebem como uma atividade social e 72% percebem que o jogo envolve todos os itens abordados anteriormente (como uma atividade social que ensina regras, habilidades, conteúdos e que também é entretenimento).

A nona questão tem como objetivo perceber o quanto as pessoas aceitam a ideia de jogos digitais de uma forma geral. Em resposta à pergunta se gostam de jogos digitais, 93% afirmam gostar e 7% indica não gostar de jogos digitais.

A décima questão tem a finalidade avaliar o comportamento das pessoas ante os desafios impostos pelos jogos digitais e, ao mesmo tempo generalizar e fazer uma analogia à questão seis. Quando se deparam com uma fase difícil, em um jogo digital, 75% afirmam que jogam até mudarem de fase¹³², 12% tentam reduzir o nível de dificuldade após algumas tentativas mal sucedidas, 6% procuram outro jogo após algumas tentativas mal sucedidas e 7% responderam não serem adeptos de jogos digitais.

¹³² Parte do jogo que fica entre um desafio e outro.

8.3 ANÁLISE DE PÚBLICO ALVO E SUAS NECESSIDADES

Por meio dos resultados da pesquisa preliminar, apresentados na seção anterior, pode-se observar maior incidência de jovens e adultos, com idades de 15 a 35 anos, indicando se tratar de indivíduos em início de carreira e, também, profissionais buscando capacitação.

Portanto, na observação desses resultados e seguindo a sugestão de PRENSKY (2012), o público é caracterizado por ser um conjunto de indivíduos em início de novas carreiras, em busca de títulos ou certificados, ou em busca de suprir uma necessidade atual em sua vida profissional.

Devido à preocupação em fazer com que o sistema seja interessante aos usuários com o perfil observado, realiza-se uma análise preliminar baseada na Pirâmide de Maslow, apresentada no Capítulo 2. Tal análise visa atender às necessidades dos indivíduos participantes (primeiramente de forma genérica) e, conseqüentemente, busca reduzir as chances de desistência durante a execução dos experimentos. Portanto, levam-se em consideração:

- 1) Necessidades fisiológicas: é atendida devido ao fato de o *GameCoop* ser desenvolvido para plataforma móvel, não mantendo o aprendiz-jogador preso a um console ou computador;
- 2) Segurança: um jogo cujas atividades são realizadas através de um programa voltado para dispositivo móvel, não havendo risco físico. Além disso, preocupou-se com a questão emocional, não adicionando competição ao jogo;
- 3) Sociais: por se basear também em aprendizagem cooperativa, possuir atividades em equipe e permitir interação social entre os participantes o jogo atende bem a essa necessidade;
- 4) Estima: O jogo não é competitivo, fato que livra o aprendiz de comparações, nem desestimula o aprendiz. O jogo também possui navegação personalizada segundo as características individuais do aprendiz, respeitando suas

preferências e, também, avaliando a capacidade do indivíduo a todo tempo. Além disso, o sistema proposto possui em seu arcabouço uma característica própria de jogos digitais que se baseia em *feedback*, recompensas e reconhecimento;

- 5) Autorrealização: parte do propósito principal do sistema proposto, sendo resultante do sucesso no aprendizado do conteúdo (que é a necessidade). O jogo permite a preparação do indivíduo para a certificação na área de processos.

A seção seguinte descreve os detalhes do processo de definição do conteúdo.

8.4 DEFINIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO CONTEÚDO

Aliando-se os aspectos citados na seção anterior à automotivação por meio do conteúdo (citada no Capítulo 2), buscou-se um tema que pudesse motivar indivíduos que procuram por autorrealização.

Portanto, para que o jogo obtivesse aceitação pelo maior número possível de pessoas, optou-se por um conteúdo que pudesse ser observado e aplicado em diversas situações, seja em atividades domésticas cotidianas ou em atividades profissionais. Além disso, tomou-se como elemento de escolha tratar-se de um conteúdo cuja extensão não comprometesse o experimento. Ou seja, teria que possuir certa flexibilidade, sem comprometer o aprendizado. Buscou-se, então, um conteúdo abrangente, que possibilitasse a realização de atividades práticas, mas que também se encaixasse em um contexto social atual, para que os aprendizes fossem motivados, com mais intensidade, a participarem do jogo¹³³.

Outra característica observada em relação ao conteúdo foi que não exigisse muita ênfase na construção de uma interface complexa para, isto é, que se esmerasse muito na

¹³³ Segundo a teoria de autodeterminação de RYAN e DECI (1997) a motivação deixa de ser resultado de uma única característica interna relacionada à personalidade do indivíduo e sua disposição de agir depende de um conjunto de variáveis internas e externas ao indivíduo, sendo elas: intensidade do interesse sobre a atividade; curiosidade de explorar diferentes maneiras possíveis de atuação nessa atividade; predisposição para aprender novas formas e ainda mais eficazes de ação e capacidade de adaptação a essas novas formas; entre outras.

ferramenta em prejuízo ao conteúdo. Outro fato decisivo na escolha do conteúdo, diz respeito à facilidade estabelecer uma comunicação por meio de símbolos, tornando a apresentação do material mais dinâmica e mais facilmente adaptável à estrutura de jogo digital.

Assim, para realizar o experimento proposto, seguindo as diretrizes enunciadas, o conteúdo escolhido foi Gerenciamento de Processos com BPMN (*Business Process Model and Notation*), uma notação gráfica que tem por objetivo prover uma gramática de símbolos para mapear processos de maneira padronizada, tornando a comunicação mais eficiente em uma equipe. Geralmente o gerenciamento de processos é usado para desenvolver ou melhorar processos de negócios em uma organização, pois permite organizar ambientes complexos (BPM CBOOK 2013). Entretanto, pode ser aplicado em qualquer tipo de processo que se deseja mapear ou aperfeiçoar, levando-se em consideração uma meta ou estratégia.

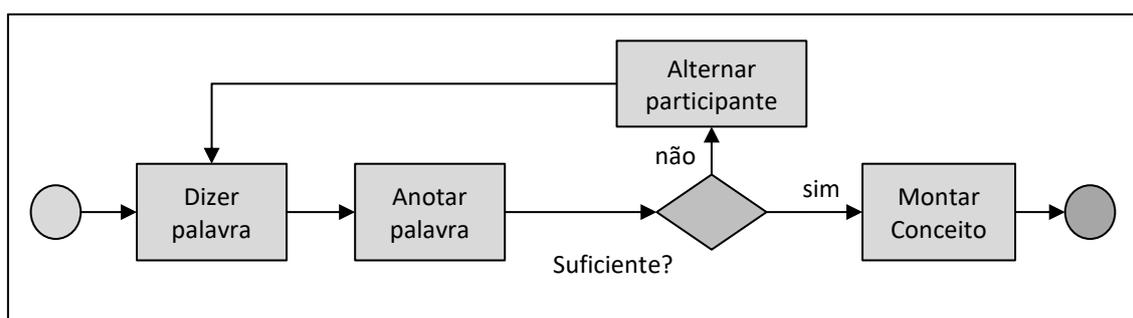


Figura 104: Exemplo do uso da notação de processos para “brainstorm”.

O gerenciamento de processos é considerado como “a terceira grande onda” que ajudou a transformar as empresas em meados de 1990 (as outras são: Qualidade Total e Reengenharia), motivada pelo aumento de competitividade das empresas na explosão da globalização.

Dentre as vantagens gerais do gerenciamento de processos, observam-se as seguintes:

- a. Oferece meios de mapeamento e aprimoramento de processos concebidos;
- b. Possibilita meios de colocar os processos em prática;
- c. Enseja a conciliação das atividades com as metas;

- d. Permite a habilidade de responder às alterações de fatores externos;
- e. Especificar e aperfeiçoar utilização de recursos;
- f. Ajuda a melhorar o arranjo físico de modo que este contribua para o desenvolvimento das atividades;
- g. Ajuda a melhorar o arranjo organizacional.

Em um sentido mais amplo, o gerenciamento de processos propicia sincronia entre insumos, atividades, infraestrutura e referências necessárias para adicionar valores ao ser humano. Dada a importância do assunto para o momento socioeconômico em que o trabalho foi desenvolvido, observou-se que o conteúdo atendeu aos requisitos do estudo e também pôde proporcionar benefícios tanto ao aprendiz quanto à sociedade.

8.5 METODOLOGIA DE ENSINO E DE AVALIAÇÃO

Após a definição do conteúdo, iniciou-se uma série de pesquisas sobre atividades lúdicas (como dinâmicas, vivências, jogos, entre outras). Buscou-se consultoria de especialistas em ensino-aprendizagem, pedagogos, psicopedagogos, especialistas no conteúdo e, contando com a experiência e conhecimento empírico de professores, instrutores e educadores. Chegou-se a um primeiro modelo de ensino do conteúdo com a utilização de dinâmicas e atividades práticas, com o intuito de perceber o que seria mais efetivo no aprendizado. Nesse primeiro modelo, foram acrescentados os testes (inicial e final) de conhecimento específico sobre o conteúdo, a avaliação do ganho de conhecimento e a avaliação do método através de questionários sobre a satisfação, conforto e fadiga. Os testes de conhecimento sobre o conteúdo foram constituídos de questões objetivas de múltipla escolha. Ressalta-se que o formato de teste sugerido é frequentemente utilizado em cursos desse tipo, como uma simulação, possibilitando a preparação do aprendiz para a certificação profissional¹³⁴ sobre o conteúdo.

O curso, cuja estrutura é apresentada na Figura 105, foi constituído de seis módulos abrangendo todo o conteúdo e teve a duração planejada para de 20 horas. A metodologia de aplicação do conteúdo contou com atividades práticas em forma de

¹³⁴ A certificação profissional relativa à esse conteúdo específico pode ser obtida por meio da ABPMP Brazil – Association of Business Process Management Professionals - <http://www.abpmp-br.org/>.

exercícios de modelagem e de vivência (forma de atividade prática que permite ao aprendiz realizar analogias com situações reais).

Observou-se melhor entendimento nas atividades de vivência que continham situações do dia-a-dia, tanto em simulações de situações em ambiente doméstico quanto em ambiente organizacional. Foi efetuado um simulado como pré-teste e, após o curso, aplicou-se outro simulado. Importante frisar que foi estabelecido um limite de tempo para conclusão dos testes simulados (procedimento bastante comum em certificações profissionais). Para o aprendiz, o simulado é um teste para averiguar sua preparação para a certificação, importando apenas a obtenção de pelo menos 70% de acerto no exame. Já para esta fase do experimento, o simulado tem como objetivo a validação da metodologia, garantindo sua eficiência. Portanto, com o intuito de medir a retenção do conhecimento (aprendizagem), mediante a utilização da metodologia, optou-se pela abordagem de ganho normalizado, explicada no Capítulo 2, partindo-se das notas do pré-teste e pós-teste.

BPM - Gestão de Processos de Negócios	
Roteiro	
Módulo 1 -Introdução -Conceitos e fundamentos (brainstorm) -As três grandes ondas -Áreas de conhecimento -Fechamento do módulo (vivência)	Módulo 2 -Atividade -Desenhando processos -BPMN -Ciclo de vida BPM -Ponto de partida (prática)
Módulo 3 -Análise de processos -Indicadores -Metas -Recursos -Atividades práticas	Módulo 4 -Análise organizacional -Análise de arranjo físico -Modelagem de estado futuro -Explorando a modelagem de processos -Atividades práticas
Módulo 5 -Implementação -Execução de processos -Controle de dados -Auditoria de processos	Módulo 6 -Tecnologia de Informação no BPM -Impacto de TI sobre os processos -Ferramentas de TI aplicáveis ao BPM -Considerações sobre o BPM

Figura 105: Roteiro do curso piloto

Ainda no formato do ensino tradicional, o curso piloto foi realizado e avaliado, tendo seus dados coletados, como um primeiro experimento para coleta de dados e posterior comparação (processo explicado em detalhes no Capítulo 9).



Figura 106: Execução do curso piloto.

Embora os resultados do primeiro curso tenham sido bastante satisfatórios, mais dois cursos foram executados observando-se o comportamento e as necessidades dos aprendizes, objetivando a realização de ajustes de conteúdo e de suas atividades correspondentes. Como atividade complementar ao processo de ajuste, foram executadas as avaliações de melhoria (comparando-se os testes) e, também, a verificação da satisfação do aprendiz, assim como dos graus de conforto e fadiga (dados obtidos por meio de questionários).

Concluídos os ajustes do conteúdo e da estrutura, em uma combinação que apresentou resultados positivos em relação ao ganho de conhecimento por parte dos aprendizes, iniciou-se o processo de adaptação das atividades e de apresentação de conteúdos à estrutura de um jogo digital.

8.6 A ARQUITETURA DO SISTEMA TUTOR

Após a análise de vários modelos de jogos digitais, buscando entender a dinâmica para escolher a melhor estrutura base para o sistema tutor, escolheu-se a estrutura de tutorial exploratório, vista no Capítulo 5, para a concepção do jogo. A escolha se justificou por essa estrutura apresentar características exploratórias observadas na maioria dos jogos digitais analisados.

A estrutura do tutor proposto pode ser vista na Figura 107, a seguir:

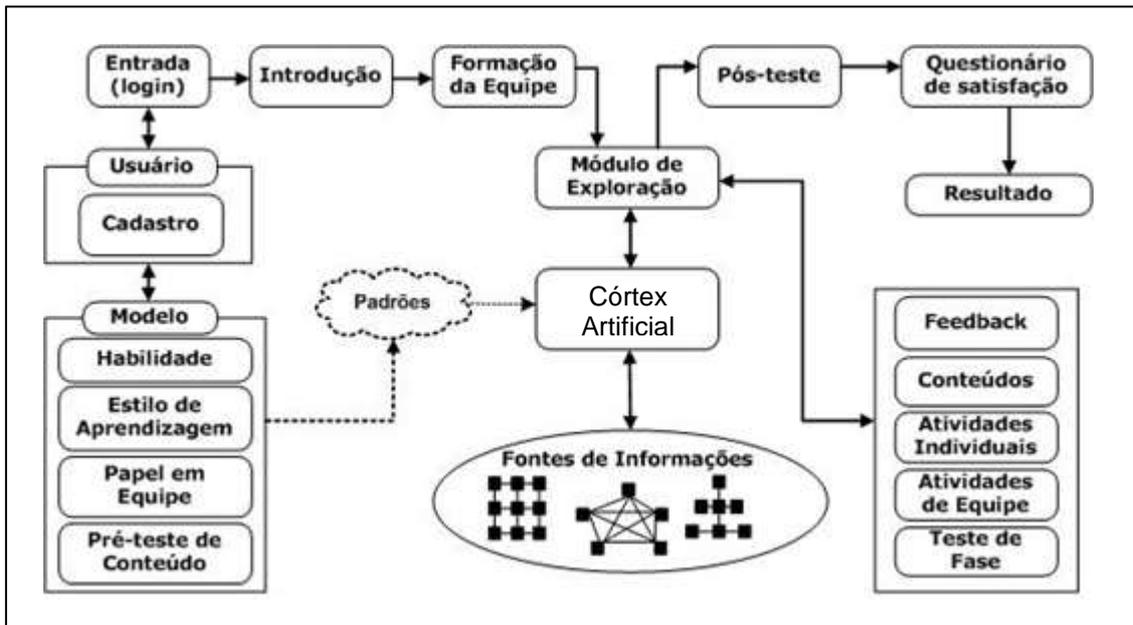


Figura 107: Estrutura do sistema tutor proposto

Pode-se observar que o modelo proposto é munido dos elementos básicos sugeridos por GIRAFFA (1999) e foi adaptado para funcionar como um jogo digital voltado à aprendizagem cooperativa. A seguir são explicados os componentes apresentados na Figura 107.

O sistema conta com um módulo de usuário, permitindo que o aprendiz possa se cadastrar e ser identificado posteriormente para ter acesso à sua sessão.

Nota-se também o módulo de modelo do aluno, que complementa o perfil do aprendiz. O modelo do aluno, no sistema proposto, é constituído de:

- a. Informações demográficas (fornecidas no cadastro);
- b. Habilidade;
- c. Estilo de aprendizagem;
- d. Papel em equipe;
- e. Conhecimento prévio sobre o assunto.

O módulo de introdução contém informações gerais sobre o experimento e, também sobre o conteúdo. Existe, ainda, um rápido tutorial para explicar a interface do jogo ao aprendiz-jogador (após a introdução ele é desligado, mas pode ser ligado novamente pela configuração). Vale ressaltar que o tutorial introdutório não possui nenhuma instrução do que deve ser feito no decorrer do jogo. Assim como a maioria dos

jogos analisados, o jogo vai se autoexplicando no decorrer do tempo (à medida que é necessário).

Quanto ao módulo de Formação de Equipes, o *GameCoop* conta com um sistema especialista que verifica a melhor configuração de equipe, levando-se em consideração:

- a. As pontuações obtidas nas respostas do Teste de Belbin (teoria apresentada anteriormente no Capítulo 3) seguindo o modelo exposto no Apêndice 3 do presente trabalho;
- b. Os melhores resultados gerais obtidos pelas equipes na etapa de treinamento da rede do sistema tutor;
- c. Combinação de características complementares.

O módulo de exploração apresenta primeiramente um teste para medir a habilidade do jogador-aprendiz com a interface do jogo. Além disso, apresenta dois ambientes a serem explorados pelos jogadores (individualmente ou em equipe). Dentro do módulo de exploração existe ainda o módulo de comunicação, que permite a troca de mensagens entre os jogadores. Há também o módulo construtor, que permite a modelagem de processos e o compartilhamento das imagens de processos criadas.

O módulo córtex de ensino é baseado no modelo de estrutura de córtex artificial apresentado no Capítulo 7. O córtex artificial é utilizado para extrair padrões que auxiliam na tomada de decisões sobre as estratégias de ensino. É por meio das decisões do córtex que o processo de ensino do sistema tutor se torna personalizado. A forma de uso do córtex no contexto do sistema tutor é explicada com maiores detalhes mais adiante.

O desenvolvimento segue com a adição de módulo de navegação de conteúdo personalizado, atividades de cooperação desenvolvidas através de análise em campo e, também, adicionando algumas das principais características de jogos, levando-se em consideração os estudos de KOSTER (2005).

Há, ainda, um módulo de pós-teste que, embora tenha o formato de avaliação, é utilizado para medir o ganho de conhecimento do aprendiz, ao final do curso promovido pelo sistema tutor.

Além do pós-teste, existem os questionários de satisfação, que permitem a coleta de dados sobre o uso do tutor.

Por fim, há o módulo de resultado que apresenta a nota do pós-teste e a indicação de ganho de conhecimento, além de uma nota de agradecimento pela participação no experimento.

8.7 A INTELIGÊNCIA DO SISTEMA

Esta seção descreve como é realizada a adaptação da estrutura do modelo de córtex artificial, proposto no Capítulo 7, à arquitetura do sistema tutor, tornando-o um sistema tutor inteligente. A inteligência do sistema o torna capaz de realizar escolhas estratégicas relacionadas a técnicas de ensino, tendo como base o seu próprio aprendizado sobre o perfil de determinado aprendiz-jogador.

Para compor a inteligência do sistema tutor, dada a complexidade do problema a ser resolvido, opta-se por utilizar um conjunto de redes mais simples, trabalhando em cooperação, para atingir um mesmo objetivo final. A área funcional cognitiva secundária do córtex artificial do sistema é composta de três redes neurais. A Figura 106 mostra o esquema utilizado como base para o projeto do córtex artificial utilizado no sistema tutor.

Seguindo o projeto do córtex, cada rede neural funciona de maneira independente, porém, elas trabalham de forma cooperativa com o intuito de atingir um objetivo comum: “promover ganho de conhecimento sobre o conteúdo de forma inteligente”, ou seja, oferecer o ensino e, ao mesmo tempo, otimizar recursos disponíveis para o cumprimento dessa tarefa.

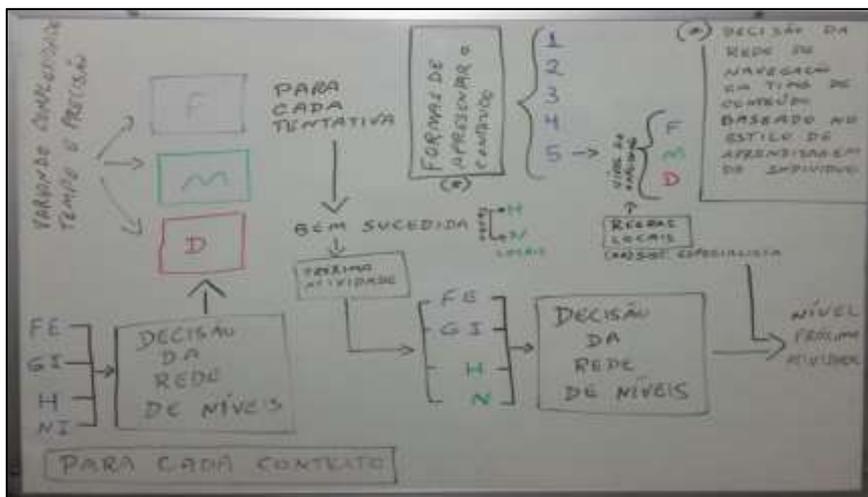


Figura 108: Registro do esquema de navegação em fase de projeto no quadro branco.

O esquema de navegação exposto na Figura 108, mostra que os níveis de dificuldade de cada atividade dentro de cada contexto são definidos pelas variáveis (FE – faixa etária, GI – grau de instrução, H – habilidade, NI – nota inicial). Ainda dentro de cada contexto, de acordo com o grau de dificuldade tem-se 5 formas de apresentação de conteúdo (dependendo do estilo de aprendizagem do indivíduo). A “tentativa” refere-se à cada tentativa de realização de uma atividade por parte de um indivíduo e que é proposta segundo o resultado do teste de “papel em equipe” (que também segue o nível de dificuldade). Ainda segundo o esquema, a cada tentativa o sistema especialista registra realiza a regulação de visitação do conteúdo segundo as ”regras locais”.

Pode-se observar que o objetivo do córtex é “oferecer ensino de maneira eficaz e eficiente”. Os indicadores selecionados para as avaliações de eficiência e eficácia são explicados mais adiante.

No sistema proposto, a primeira rede neural do córtex de ensino-aprendizagem é projetada para realizar a navegação em níveis de dificuldade (fácil, médio e difícil) do conteúdo a ser apresentado e, conseqüentemente, das atividades a serem executadas pelos aprendizes. Essa rede neural tem como função aprender quais os níveis de dificuldade pelos quais cada aprendiz necessita passar para que obtenha o melhor aproveitamento do conteúdo. Esse aprendizado é obtido através da observação dos níveis escolhidos por indivíduos que obtiveram bom desempenho em execuções anteriores (os experimentos de coleta de dados para o treinamento das redes são detalhados no Capítulo 9). Posteriormente, baseando-se no perfil individual de cada novo aprendiz, a rede neural deve indicar os níveis de dificuldade das atividades para os novos aprendizes, fazendo com que o jogo varie o nível de dificuldade “automaticamente” de acordo com seu desempenho.

Uma segunda rede neural artificial foi constituída para indicar o formato do conteúdo a ser apresentado. O formato do conteúdo muda de acordo com o estilo de aprendizagem de cada indivíduo (assunto abordado no Capítulo 2). Essa rede tem como objetivo emular o tutor humano na escolha de estratégias para explicar um mesmo conteúdo de formas distintas para facilitar a assimilação por parte do aprendiz.

Por fim, uma terceira rede é responsável por indicar o papel a ser desempenhado pelo jogador na atividade em equipe, baseando-se principalmente no perfil de equipe do jogador (tema apresentado no Capítulo 3). As atividades (descoberta de recursos,

entender e repassar o problema, descobrir como se resolve o problema, entre outras) do desafio em equipe são distintas por indivíduo, complementares e divididas, por sua vez, em atividades estratégicas, táticas e operacionais.

Observando-se a Figura 109, pode-se perceber que o córtex artificial de ensino-aprendizagem tem como intuito o melhor uso de recursos (de ensino) disponíveis para garantir o ganho de conhecimento sobre o conteúdo, por parte do aprendiz. Isso é possível através da condução do aprendiz (usuário do sistema) por uma trajetória de ensino que descarta recursos desnecessários e inadequados ao seu perfil.

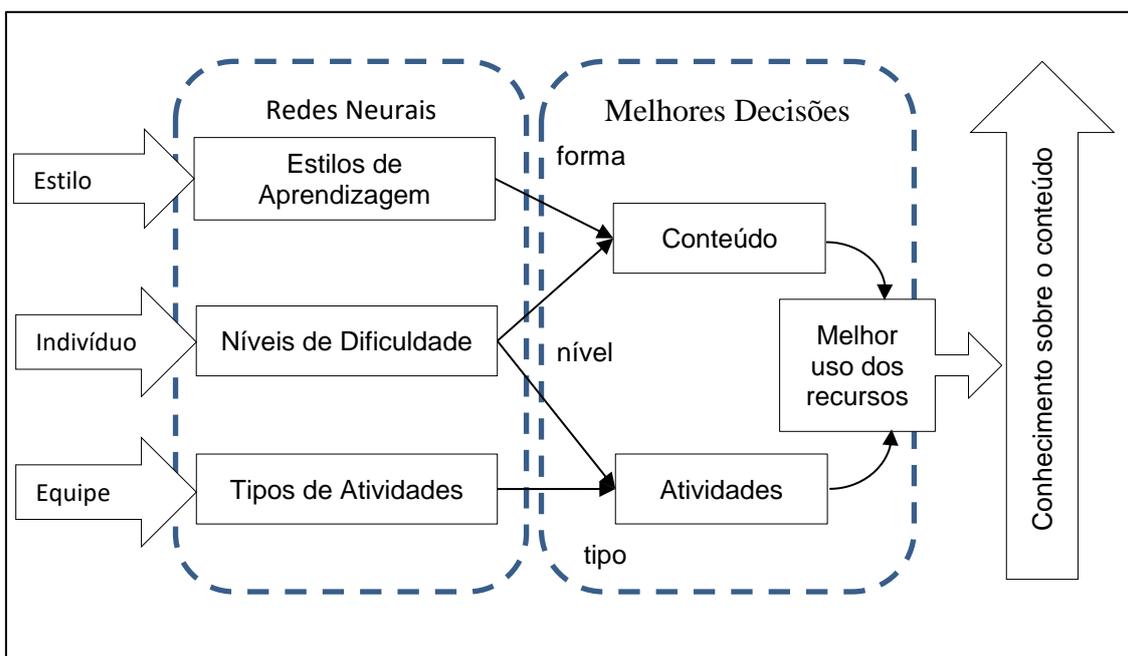


Figura 109: Estrutura da inteligência artificial cooperativa.

É possível inferir, portanto, que a eficiência do sistema proposto pode ser mensurada pelo uso de recursos observando-se sua produtividade, isto é, saber quantos recursos ele utiliza para cumprir seu objetivo.

Segundo BALLESTRO-ALVAREZ (1997) e CHIAVENATO (1998), a eficiência está diretamente relacionada com a produtividade e é inversamente proporcional aos recursos utilizados (no caso do sistema proposto: a quantidade de níveis visitados, quantidade de formatos diferentes oferecidos e das tentativas de execução de atividades). A relação pode ser vista na Equação (24), a seguir:

$$E = \frac{P}{R} \quad (24)$$

Na Equação (24), “E” é a eficiência, “P” é a produtividade e “R” a quantidade de recursos utilizados.

Através de uma adaptação da Equação (24) é possível avaliar o quanto a eficiência de cada uma das redes está fora dos parâmetros esperados. Quanto maior o número de níveis visitados (ou de contextos, ou de tentativas, dependendo da rede) para um determinado perfil mais baixa será a eficiência e, portanto, essa rede precisará ser mais bem treinada. Vale observar que a análise, para ser mais refinada, pode ser realizada por perfil do aprendiz para cada rede.

Por exemplo, analisando-se a rede que apresenta os conteúdos com base no estilo de aprendizado, sabe-se que o treinamento possui 18 atividades e que durante cada uma dessas atividades o sistema pode variar a forma do conteúdo, auxiliando o aprendiz a passar para a próxima atividade. A situação ideal seria que o sistema utilizasse apenas uma forma de conteúdo em cada uma das atividades, pois isso mostra que o modelo de córtex realmente aprendeu. No caso de o córtex apresentar uma grande variação no uso de recursos, a eficiência pode ser comprometida e talvez o modelo não esteja servindo ao seu propósito.

Para melhor entendimento do uso da Equação (24), supõe-se que um perfil de indivíduo utilizou em média 24 contextos (forma de conteúdo) na realização das 18 atividades, isto é, $E = 18/24 = 0,75$. Isso quer dizer que teremos uma eficiência de 0,75, estando a uma distância euclidiana de 0,25 do ideal (que é $E=18/18=1$) para esse perfil nessa rede. Após gerar as medidas, deve-se verificar o quanto essa distância da “eficiência ideal” afeta a eficácia do sistema para o perfil específico. Dependendo do resultado dessa análise, o córtex pode requerer um novo ciclo de aprendizagem.

Seguindo a lógica do exemplo anterior, pode-se verificar a eficiência de cada uma das redes do sistema tutor, tendo em vista que o ideal é ter um recurso para cada atividade, do tipo 18 por 18. Qualquer coisa acima disso vai gerar uma distância do ideal, semelhante à identificada por VYGOTSKY (1998), com sua Zona de Desenvolvimento Proximal. Essa distância indica um potencial de aprendizagem para a rede neural artificial avaliada e, conseqüentemente, para o córtex.

A eficácia do trabalho de cooperação das redes neurais pode ser observada e avaliada através do seu indicador objetivo, que é a obtenção do ganho de conhecimento.

O ganho de conhecimento por parte do aprendiz é medido por meio do indicador de ganho normalizado, apresentado no Capítulo 2, Seção 2.6, Equação (3).

A verificação dos indicadores supracitados (as avaliações de eficiência e eficácia, partes das áreas funcionais secundárias pré-frontais do córtex artificial), bem como o uso dessas avaliações, dos dados da Memória Comportamental e Filtros Cognitivos são apresentados no Capítulo 9, que trata dos experimentos e resultados.

8.8 COMPONENTES DO JOGO DIGITAL

Com o conteúdo e suas respectivas atividades práticas correspondentes já bem definidas e testadas, o desafio passa a ser a transformação do curso em um jogo digital. Inicia-se, portanto, o processo de *gamificação*¹³⁵.

Levando-se em conta as percepções dos autores Prensky e Thiagarajan, apresentadas no Capítulo 6, para que o jogo digital seja eficaz em seu propósito de apresentar altos níveis de aprendizagem, é necessário que haja um alto grau de envolvimento por parte do aprendiz-jogador. Não obstante, torna-se necessário fazer com que ele se sinta confortável em jogar. Portanto, uma boa e equilibrada definição dos elementos de jogo (regras, apelidos, metas ou objetivos, “avatares”, ambientes, pontuação, recursos, desafios, níveis de dificuldade, níveis de progresso, recompensas, interface, entre outros) torna-se essencial para proporcionar tal envolvimento.

Observa-se que, nos jogos digitais, as atividades são executadas em ambientes específicos (mapas). Portanto, o primeiro passo foi verificar quais as atividades desenvolvidas durante o curso tradicional foram mais efetivas no processo de ensino. Observando o comportamento dos participantes, foi possível notar que as atividades do dia-a-dia, comuns a todos, tanto no ambiente residencial como no ambiente de trabalho ou em visita a estabelecimentos comerciais, tiveram maior participação e troca de ideias. Após uma breve análise das atividades e do público que poderia vir a participar dos experimentos foi decidido que as atividades profissionais não fariam parte do jogo (por haver grande variedade e, também devido à possível falta de conhecimento de

¹³⁵ Gamificação (*gamification*) é a aplicação de elementos de jogo e técnicas de design de jogos digitais para problemas não-jogo, como os desafios de negócios e de impacto social. Mais detalhes sobre o assunto podem ser encontrados em um curso oferecido pela Universidade da Pensilvânia, através do site: <https://www.coursera.org/course/gamification>

alguns participantes). Portanto, são utilizados dois mapas os quais os jogadores podem explorar: um representando ambiente residencial e um descritivo de um ambiente empresarial comercial.

A Figura 110 apresenta etapas de evolução de algumas das imagens tratadas e utilizadas para testes e desenvolvimento do jogo. Os detalhes técnicos sobre as ferramentas utilizadas na confecção das imagens dos mapas são descritos mais adiante em um tópico específico.

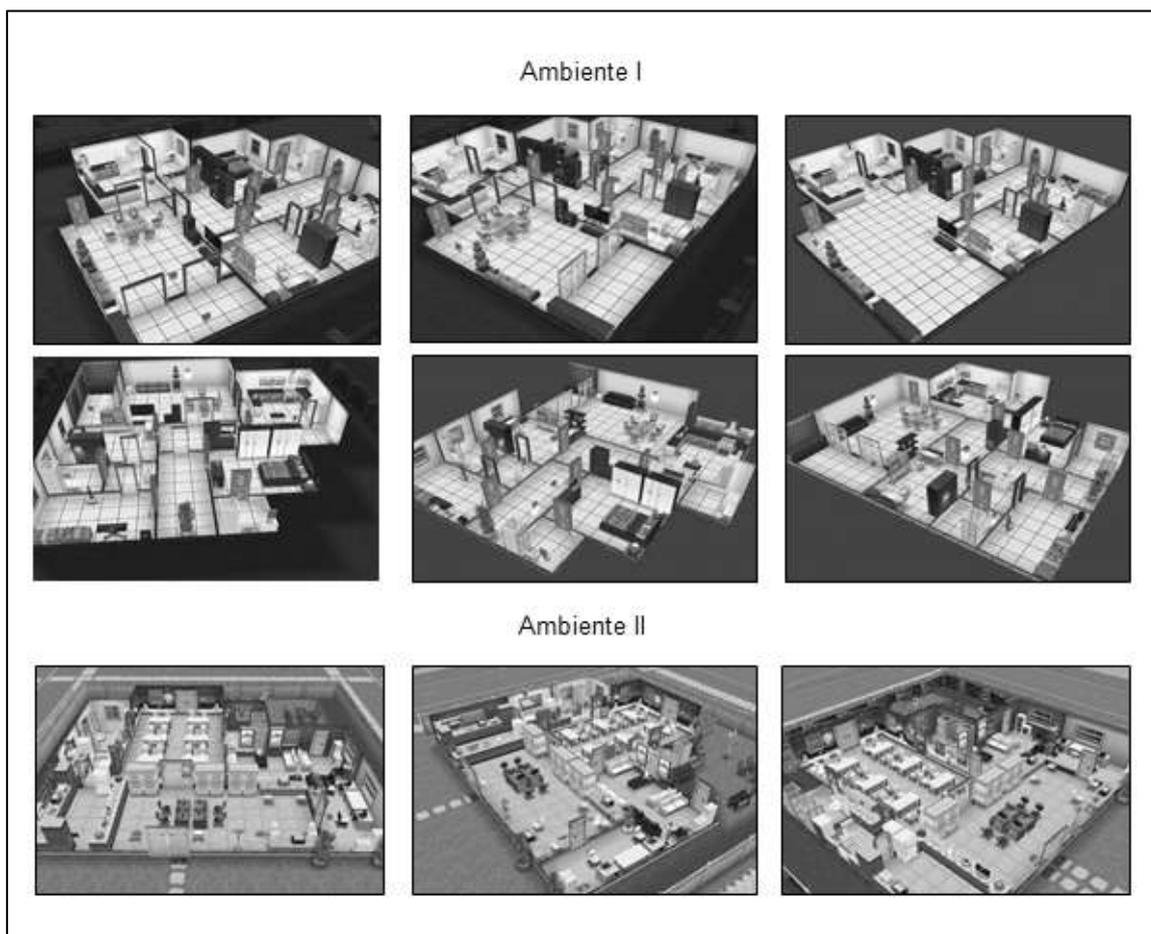


Figura 110: Etapas de teste e tratamento de imagens dos mapas do jogo.

O jogo é dividido em dezoito (18) fases. Dessas dezoito (18) fases, nove (9) ocorrem no mapa do ambiente residencial e as outras nove (9) ocorrem no mapa do ambiente empresarial. Cada jogador começa executando duas atividades de maneira individual, a terceira é uma atividade cooperativa em equipe. Essa terceira atividade utiliza o resultado das execuções de tarefas das duas atividades anteriores, bem como exige conhecimento sobre o conteúdo que elas apresentaram e, somente de maneira cooperativa é que passam dessa fase. Observa-se, portanto, doze (12) atividades

individuais com possibilidade de interação e cooperação e seis (6) etapas arbitrariamente cooperativas, compreendendo todo o conteúdo do curso, conforme ilustra a Figura 111.

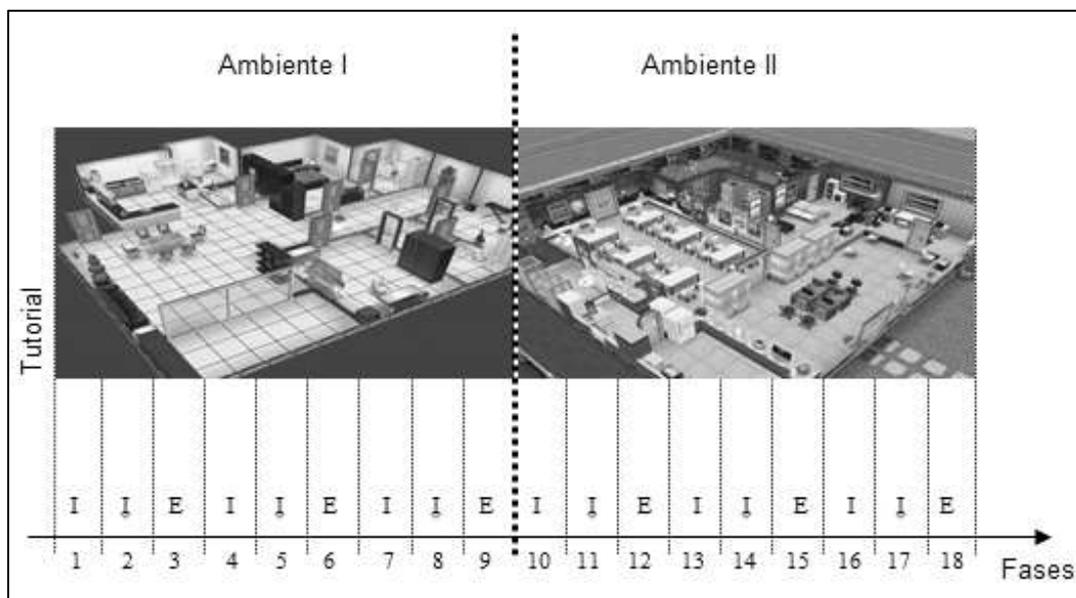


Figura 111: Ordem das atividades - (I) atividade individual (E) atividade em equipe.

O conteúdo do curso foi subdividido em atividades de exploração, elaboração, execução e cooperação (interação e cooperação são incentivadas durante todo o jogo). Cada atividade equivale a um nível de progressão dentro do jogo. Salienta-se que toda atividade do jogo é um teste, seja ela realizada individualmente ou em equipe. Ao final de cada contexto, uma atividade cooperativa deve ser executada. Tal atividade funciona como um teste para passagem para o próximo nível de progressão.

É importante ressaltar que, em um jogo digital, quanto mais se avança em suas etapas (fases), mais elementos vão surgindo e mais desafiador o jogo se torna. Portanto, tornou-se necessário elaborar o projeto da curva de evolução do jogo digital (que leva a uma curva de aprendizagem do jogador, em relação ao conteúdo), fazendo com que os problemas a serem resolvidos pelos aprendizes-jogadores fossem se tornando mais complexos e com mais opções de elementos à medida que avançam nas fases do jogo, conforme mostra a Figura 112.

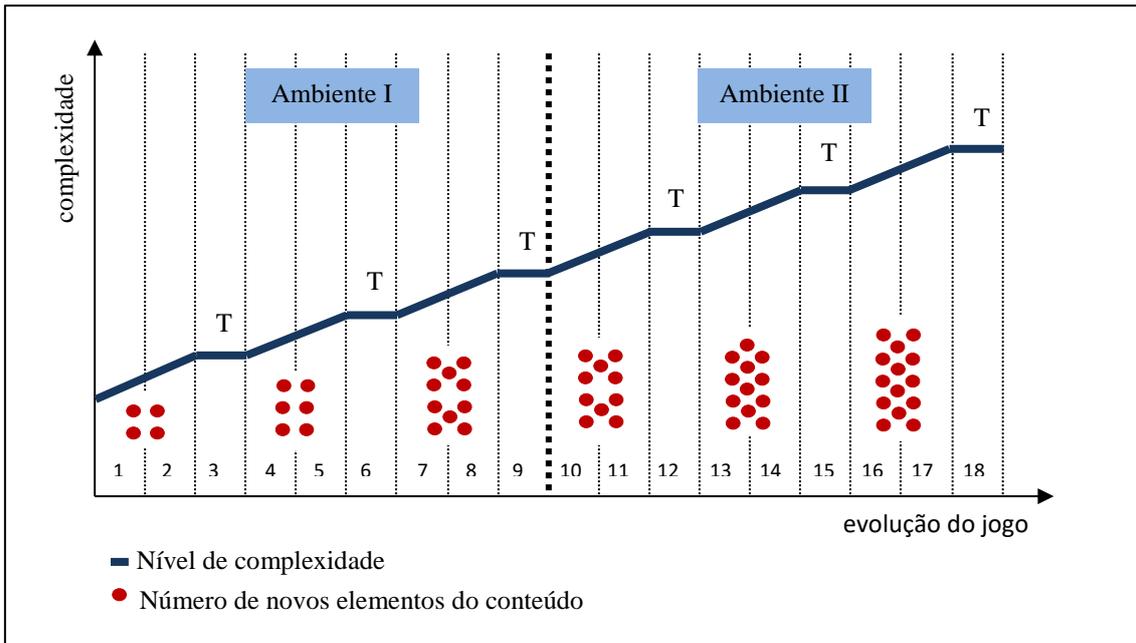


Figura 112: Dinâmica de evolução das fases.

A exposição de elementos de forma crescente, descrita anteriormente, no decorrer do tempo, casou bem com o conteúdo, principalmente por existirem diversos elementos gráficos no BPMN que podem ser utilizados em várias opções de construção de um processo. Os elementos da notação do BPMN podem ser observados na Figura 113.

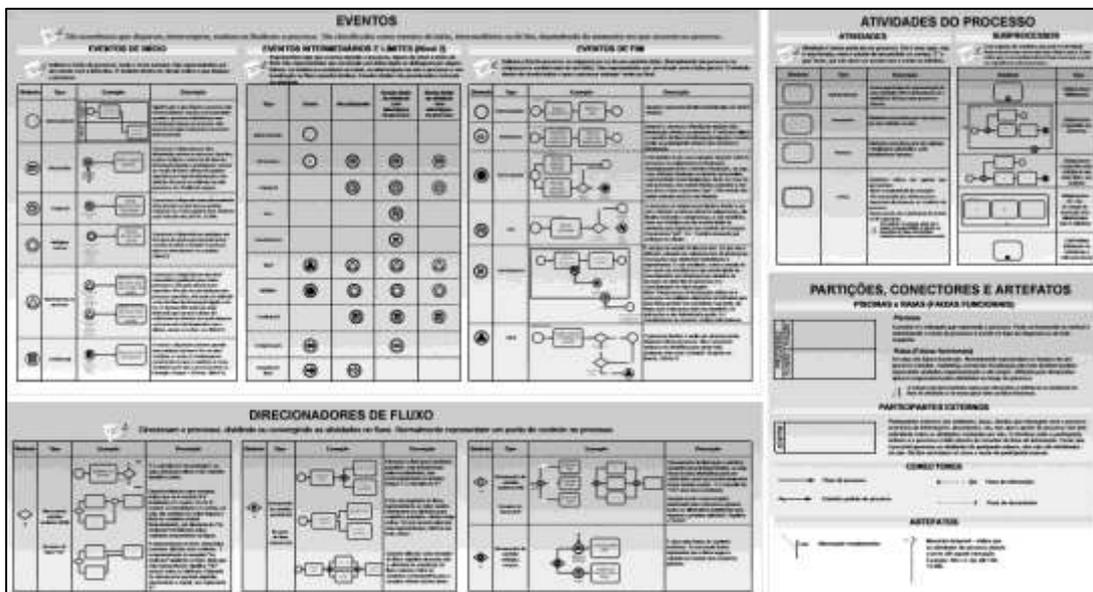


Figura 113: Notação para modelagem de processos (BPMN).

Outra etapa importante, na fase de “gamificação”, decorreu da observação do modo como as pessoas agem em determinadas situações de jogo. Além de evidenciar um padrão de comportamento, essa observação forneceu elementos, também, para a manutenção de um fluxo de jogo.

Em um curso tradicional, as atividades acompanham o conteúdo apresentado, ou seja, a exposição do conteúdo prevalece sobre exercícios e outras atividades, que funcionam como complemento de fixação. Em um jogo, observa-se justamente o contrário: o pouco conteúdo apresentado aparece na forma de dicas (pistas para a solução do problema), geralmente após uma tentativa de realizar uma atividade sem sucesso. Dessa forma, a aprendizagem ocorre devido ao fato de que o jogador desenvolve o raciocínio lógico para resolver o problema. Nos jogos digitais as atividades a serem realizadas pelos jogadores são geralmente desafiadoras e, em muitos casos, são divididas em níveis de dificuldade.

O passo seguinte consiste em definir os níveis de dificuldade das atividades e de seus respectivos conteúdos. Fica definido o uso de três níveis de dificuldade para cada atividade: fácil; moderado (médio) e difícil. A dificuldade da atividade está relacionada ao seu nível de complexidade e ao tempo de execução. Quanto maior o nível de dificuldade de uma atividade, mais elaborada é a explicação (ou dica) contida no conteúdo relacionado a tal atividade. Em outras palavras, o conteúdo relacionado a cada atividade foi elaborado visando atender às necessidades específicas de cada nível de dificuldade, com o intuito, também de fazer com que o aprendiz-jogador se esforce ao máximo para entender a explicação primeiramente em um nível mais elevado (mas que pode ser alterado de acordo com seu desempenho).

A forma de exposição do conteúdo também é adaptada para corresponder aos os estilos de aprendizagem, isto é, cada estilo de aprendizagem corresponde a uma forma específica de exibição de conteúdo.

Toda essa estratégia utilizada pelo sistema para abordar os níveis de dificuldade, o tipo de atividade a ser desenvolvida e a forma de apresentação do conteúdo, levando-se em conta o perfil do jogador, é tratada pela inteligência do sistema (cortex de ensino-aprendizagem), conforme já explanado.

A Figura 114 apresenta a interface com a imagem definitiva utilizada no mapa do ambiente residencial (doméstico) no jogo, em que é possível identificar vários elementos comuns em jogos digitais e, também, um sistema de comunicação (*chat*).

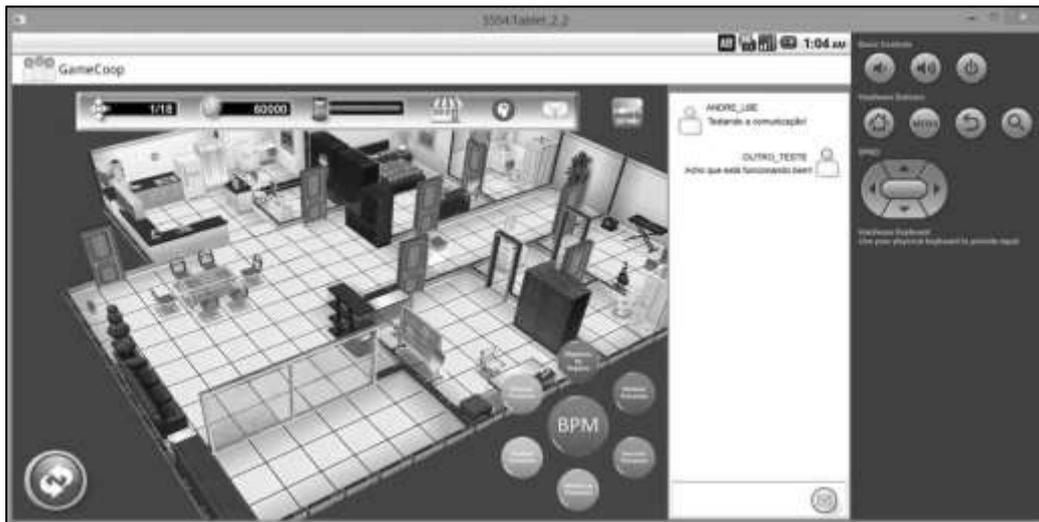


Figura 114: Tela do jogo – ambiente residencial.

A “barra do jogo”, que fica na parte superior da tela do ambiente, possui mais alguns elementos de jogos digitais. A barra do jogo pode ser vista em detalhes na Figura 113, a seguir:

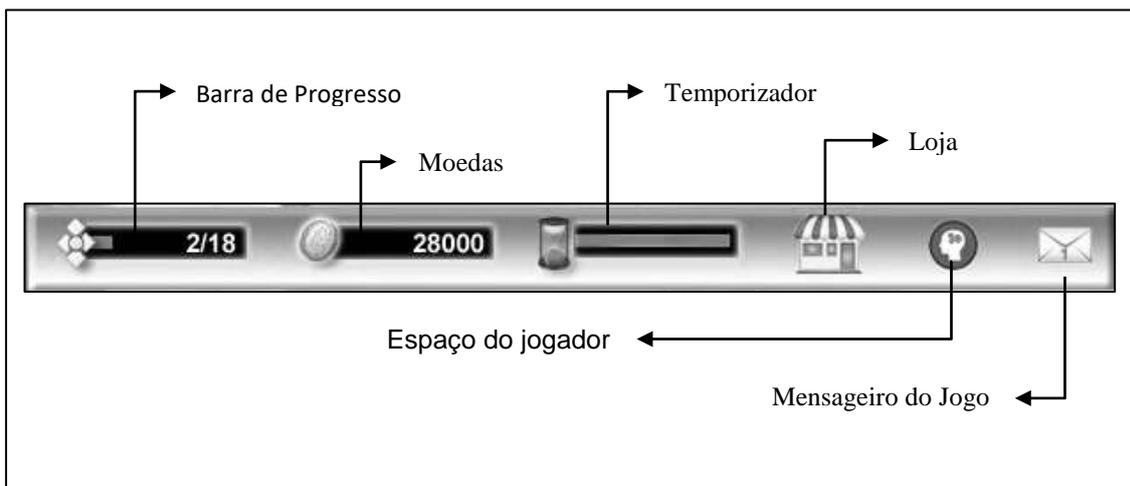


Figura 115: Elementos informativos e interativos do jogo.

A barra de progresso, que aponta a progressão do aprendiz-jogador em relação às atividades do jogo (no caso da Figura 115, indica que está na atividade 2 de 18 atividades). O indicador “quantitativo de moedas” demonstra o ganho de recompensas, diretamente proporcional ao desempenho do aprendiz. Isso quer dizer que estará se saindo tão bem na atividade, quanto mais moedas ele obtiver (ou mantiver). A ideia geral é otimizar os processos e também o uso dos recursos para que se tenha um menor custo nas atividades. Por sua vez, o temporizador indica o tempo de execução para cada atividade (parte do desafio é executar a atividade da fase dentro do tempo estipulado). Durante o jogo o aprendiz-jogador pode visitar a “Loja” (uma lista contendo vários

itens, cada qual com seu respectivo preço). Esses itens são, na verdade, recursos que podem complementar os demais elementos encontrados no ambiente para a execução de determinadas tarefas. Ao adquirir um recurso da lista, o valor é subtraído do contador de moedas. O Espaço do Jogador (ícone com o formato de uma cabeça) apresenta uma forma acesso ao conteúdo da fase, dá dicas simples sobre a ação necessária no momento e, também, mostra o repositório de itens do jogador (que ele ganha ou coleta durante o jogo). O mensageiro do jogo informa ao aprendiz-jogador sobre as regras, os objetivos, instruções e dicas sobre cada fase e, também, apresenta uma parte mais teórica (chamadas de “curiosidades”) acerca do tema em questão.

No canto inferior esquerdo é possível observar o botão “girar”. Esse botão possui a funcionalidade de girar o mapa, mudando a perspectiva de observação do ambiente, conforme apresenta a Figura 116.

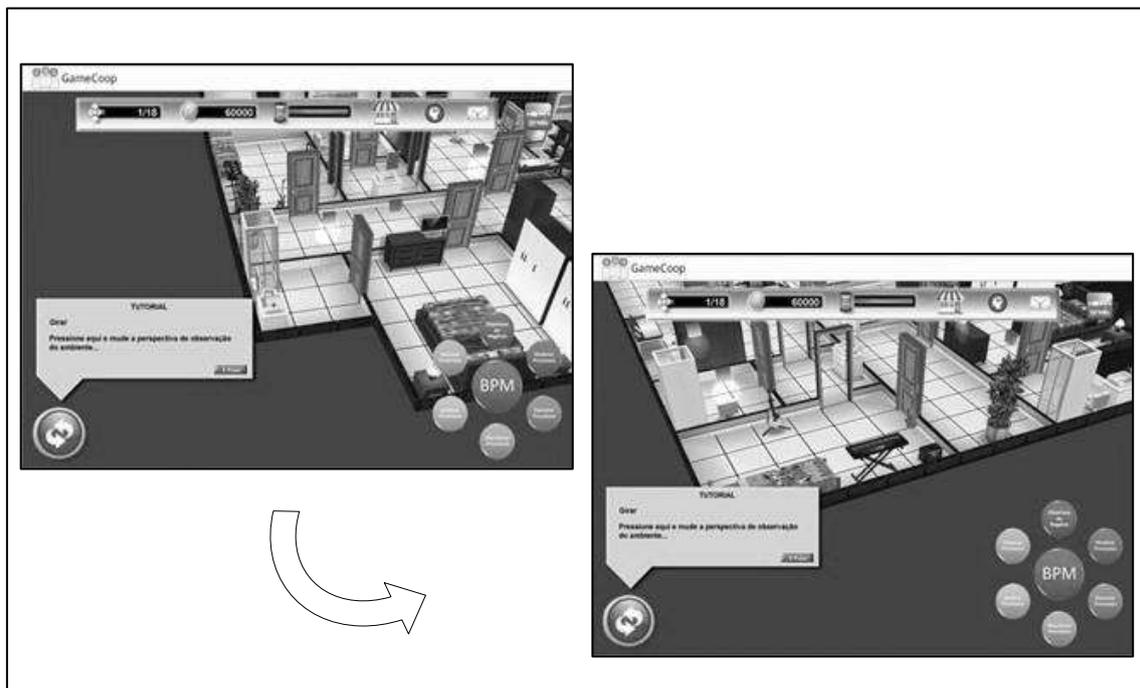


Figura 116: Funcionalidade de girar o mapa.

A confecção das imagens é feita em diversos ângulos, para dar a impressão de possibilidade de rotação do ambiente. Além disso, foi pensado que a visualização do ambiente de forma inteira permite o deslocamento (deslizamento), redimensionamento para aproximação (*zoom in*) e afastamento (*zoom out*).

Com o movimento de pinça dos dedos (nos dispositivos móveis apropriados, com tela sensível ao toque), é possível ampliar o mapa até um limite máximo aceito pelo

sistema e, também, reduzi-lo ao mínimo que corresponde ao tamanho original da tela do mapa. Também é possível deslocar o cenário, deslizando o dedo por sobre a figura, quando ela está ampliada. Essas funcionalidades de manipulação de figura são muito comuns em dispositivos móveis, sendo que as diferentes perspectivas dos ambientes não passam de figuras. O jogador não interage diretamente com qualquer objeto do mapa enquanto ele está sendo visualizado “de cima”.

A interface mostra um objeto denominado pela sigla BPM (Figura 117), o qual apresenta boa parte do que deve ser realizado em cada uma das fases. Além disso, permite acessar outros recursos (analisador de processos, construtor, entre outros).



Figura 117: Objeto BPM.

O botão azul, localizado no canto superior direito da interface, é um guia de referência BPMN. Nele está contida toda a notação e explicação (bem resumida) sobre os elementos apresentados até então. Decidiu-se que o guia de referência completo (anteriormente apresentado pela Figura 113) não ficaria disponível para não confundir o jogador e nem fazê-lo explorar elementos que não foram apresentados pelo jogo (por demandar tempo do jogador na exploração e, também, por aumentar as chances de erros). Portanto, o conteúdo do guia de referência é dinâmico, ou seja, à medida que o jogador vai descobrindo novos elementos, esses passam a ser apresentados (ao abrir o guia o sistema verifica a fase atual e carrega os elementos já apresentados no conteúdo do guia), conforme mostra a Figura 118.

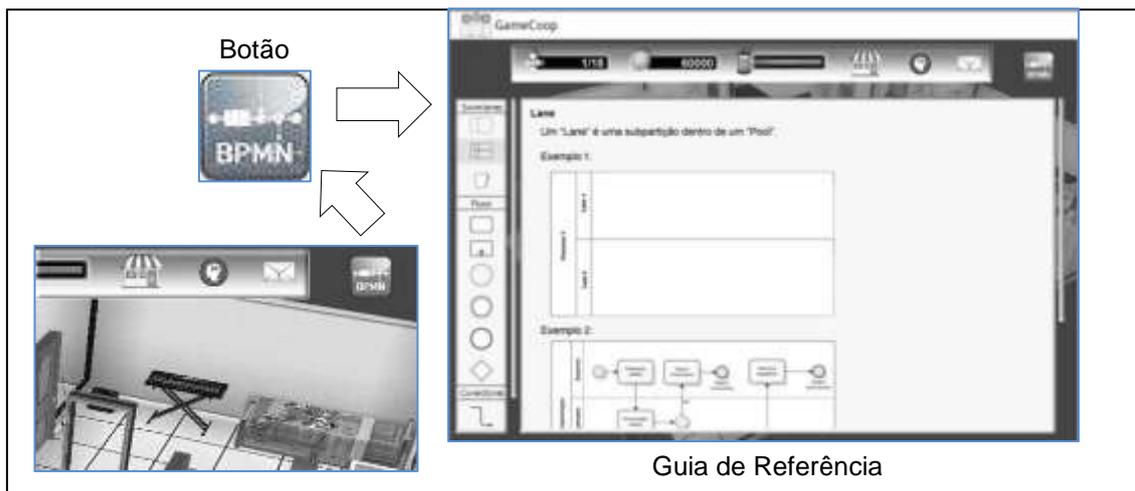


Figura 118: Tela do Guia de Referência BPMN.

A limitação da exploração de novos elementos e novas descobertas faz parte dos princípios dos jogos digitais e se torna ainda mais rigorosa nesse caso, por se tratar de um sistema voltado para experimento científico, que necessita de alguns limites a fim de ser controlado.

Em diversas ocasiões (e em casos específicos, quando o jogador demora a interagir), o jogo indica onde está a atividade ou onde estão os recursos a serem explorados. A indicação aparece na forma de duas flechas orientadas para baixo e que ficam se movimentando para chamar a atenção (Figura 119).

Vale salientar que os aprendizes devem explorar o ambiente em busca dos objetivos de cada fase. As atividades são parcialmente diferentes para cada aprendiz-jogador, bem como pistas e recursos encontrados em cada parte do ambiente (dependendo do perfil do jogador, como é explicado mais adiante).



Figura 119: Indicação de atividade a ser executada.

A interação com objetos somente é possível quando o jogador inicia uma atividade que requer que ele “entre em um ambiente específico”, como a Figura 120 ilustra. Vale observar que são utilizadas imagens de ambientes reais como complemento ao mapa, pois cada etapa exige um grau de detalhamento em relação aos recursos. Isso foi pensado para auxiliar na imersão no mundo do jogo. Também, para que o aprendiz aprenda a lidar com processos, utilizando coisas que ele possa perceber no dia-a-dia.



Figura 120: Ambiente do jogo com indicações de possíveis tarefas

Existem duas formas de interação com objetos. A primeira forma é coletar itens (inspirado no jogo *CSI: Hidden Crimes*), tocando por sobre os objetos na tela. Apresentado um processo, o jogador deve associar os recursos necessários para a sua realização. Esses itens ficam disponíveis na tela durante um período de tempo (que varia de acordo com o nível de dificuldade da fase para o perfil do jogador). O jogador deve pressionar sobre os itens desejados e coletá-los. Se não conseguir coletar os objetos dentro do tempo exigido, quando for exigido o uso, terá que adquirir os objetos faltantes por meio de acesso à loja. Quando necessita adquirir os itens, o valor da compra é descontado do saldo de moedas do jogador (moedas são dadas pelo jogo como recompensa).

A segunda forma de interação consiste em descobrir qual item está faltando ou está fora do lugar. Os itens que estão faltando devem ser adquiridos na loja e, os que apenas estão fora do lugar, o jogador deve colocá-los no lugar correto, pressionando, arrastando e soltando (organizando o ambiente para o processo seja ainda mais eficiente). É possível que o jogador, em alguns casos, esteja desatento e não perceba que

o item está apenas no lugar incorreto. Como consequência, pode acabar adquirindo desnecessariamente um novo item (o que aumenta o custo do processo).

Um exemplo de objeto fora do lugar, na Figura 120, é o “pano de prato” pendurado na porta da geladeira e não em um dos ganchos da parede. Outro exemplo pode ser observado com as vasilhas que estão no escorredor. Para que o jogador possa realizar o processo de “lavar as vasilhas sujas”, ele irá necessitar do espaço no escorredor e, portanto, antes de iniciar o processo de “lavar as vasilhas sujas” deve “guardar as vasilhas limpas”. Para montar o processo de “guardar as vasilhas”, o jogador deve observar que, se as vasilhas limpas ainda estiverem molhadas, deve-se enxugá-las (dessa forma o sistema faz com que o jogador pense em ordem lógica e, com o apelo visual, acredita-se que se possa facilitar a compreensão).

Durante o jogo, o aprendiz deve realizar as tarefas, coletar recursos, descobrir objetos escondidos (assim como visto em vários jogos), com exceção dos objetos escondidos que apenas pontuam (ganho de troféus e recompensas) e servem de incentivo à curiosidade do aprendiz-jogador. Os demais recursos coletados são utilizados nas atividades. Alguns objetos coletados necessitam ser usados (diretamente, montados ou combinados) na tarefa da equipe¹³⁶ (que permite a todos passarem de fase ao mesmo tempo, dependendo não apenas do esforço despendido nas atividades solo, mas também do esforço da equipe como um todo).

Os “recursos” são elementos a serem utilizados no processo. Como exemplo, pode ser citado “o processo de lavar vasilhas” que, por sua vez, requer: detergente (ou sabão em barra) e, também, esponja (ou escova de cozinha). Observa-se, no exemplo anterior, a similaridade entre alguns elementos. A distribuição dos elementos no ambiente se dá de forma aleatória. Caso o recurso não tenha sido encontrado no seu devido tempo (por qualquer motivo), o jogador (ou um dos jogadores, no caso de ser atividade em equipe) poderá adquiri-lo por meio de acesso à loja, cujo ícone está situado na barra de jogo e na interface do inventário (Figura 121).

¹³⁶ Cada indivíduo deve expor, na atividade em equipe, os objetos que encontrou. Um mesmo objeto nunca é encontrado por duas pessoas distintas (o que garante a conscientização da necessidade do trabalho em equipe).



Figura 121: Representação gráfica e interface da loja do jogo.

Para acessar o inventário, o jogador deve entrar no espaço do jogador (ícone da cabeça na barra de jogo) e, posteriormente, entrar no inventário (interface principal > espaço do jogador > inventário).

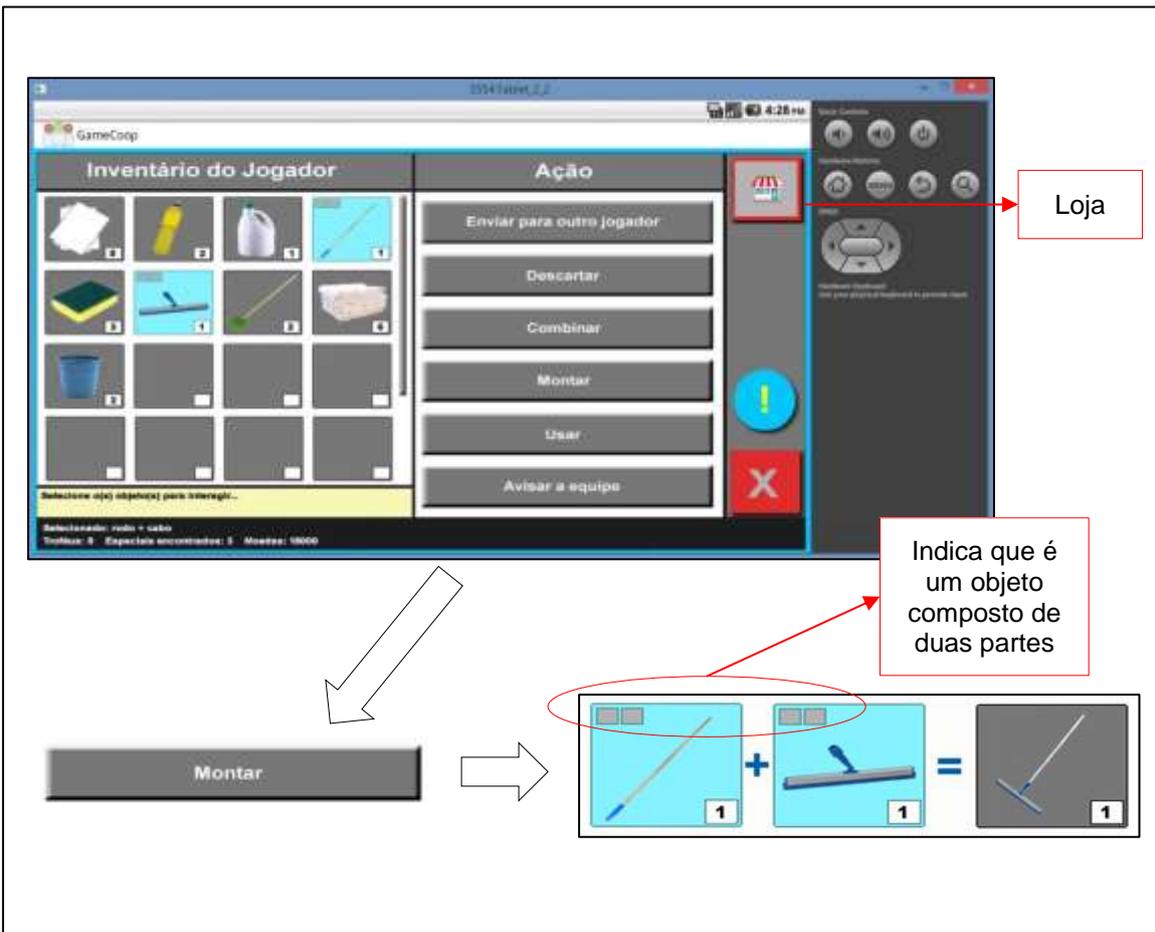


Figura 122: Tela do "Inventário do Jogador" e a montagem de objetos a serem utilizados.

Quando o sistema requer a construção de um processo e constata a falta dos recursos necessários, ele emite um aviso ao jogador (ou aos jogadores no caso de atividade em equipe). Dessa maneira os jogadores podem se organizar antes de iniciar o desenho e execução de um processo.

A segunda metade do jogo se passa em um mapa que simula um ambiente empresarial. Observando-se a Figura 123, é possível notar vários espaços, com diferentes configurações físicas. O ambiente foi inspirado em um modelo de negócio que possui espaço para loja de conveniência, *cyber* café, e lanchonete, com o intuito de permitir a modelagem de tipos de processos diferentes e que, ao mesmo tempo, pudessem ser percebidos pelos jogadores no dia a dia (como clientes de negócios semelhantes na vida real, por exemplo). À medida que as fases vão passando, as tarefas vão se adequando ao contexto.



Figura 123: Tela do jogo – ambiente empresarial.

Seja no primeiro ou no segundo ambiente, existem formas de construir os processos dentro do jogo, mediante um editor (todos os símbolos do BPMN são derivados destes ilustrados abaixo), o construtor.

O construtor é uma ferramenta de simples utilização, intuitiva, inspirada na ferramenta *Bizagi Modeler*¹³⁷, porém apenas com recursos de modelagem assistida. O construtor é utilizado quando o aprendiz-jogador precisa criar ou aperfeiçoar processos

¹³⁷ *BizAgi Modeler* é uma ferramenta gratuita de modelagem de processos, mas que possibilita a criação de diagramas em geral. Utiliza como notação o BPMN - Business Process Model and Notation.

e apresenta três modos diferentes de utilização:

- a. Modo tutorial: apresentando um modelo que o jogador deve imitar, similar ao que mostra a Figura 124. Assim como na ferramenta citada como fonte de inspiração, quando se pressiona um objeto, ele apresenta as possíveis interações com outros objetos. Daí basta arrastá-los para compor o diagrama. Se o aprendiz-jogador quiser modificar o objeto, basta pressionar o dedo sobre ele durante alguns segundos.
- b. Modo quebra-cabeça: uma sombra é apresentada e, ao tocar em uma parte da sombra, diversas opções de elementos são dispostas para a escolha do jogador, como apresenta a Figura 125. Essa maneira de montar o diagrama de processo foi inspirada pelo trabalho desenvolvido por CORTEZ (2004).
- c. Modo editor “livre”: sugestões são dadas para a escolha dos objetos, porém ele monta da forma que achar conveniente, conforme mostra a Figura 126.

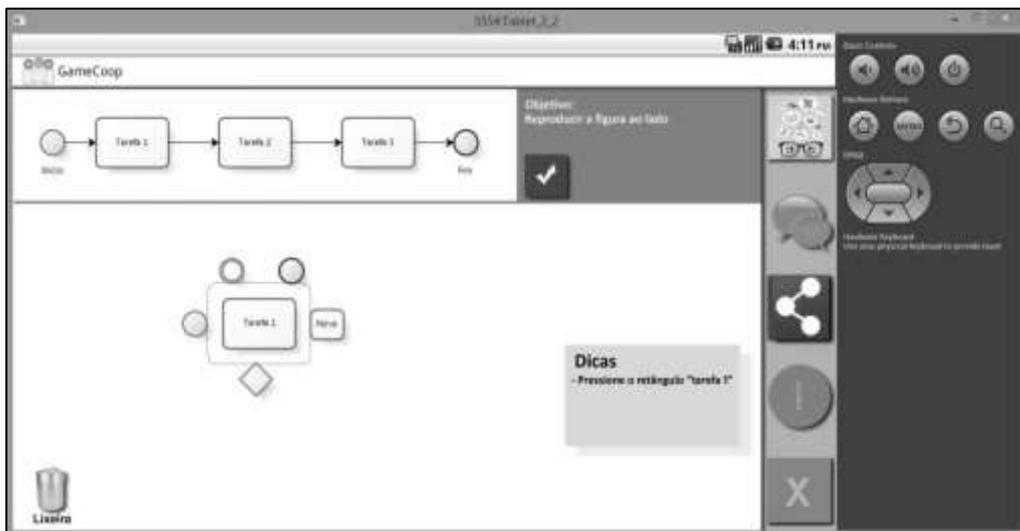


Figura 124: Tela do editor de processos no modo tutorial.

O “modo tutorial” faz com que o aprendiz-jogador execute um passo a passo, seguindo suas instruções. O tutorial só apresenta uma nova dica de uso após o aprendiz-jogador executar a ação sugerida pela dica apresentada (essa é mais uma característica observada nos jogos digitais convencionais).

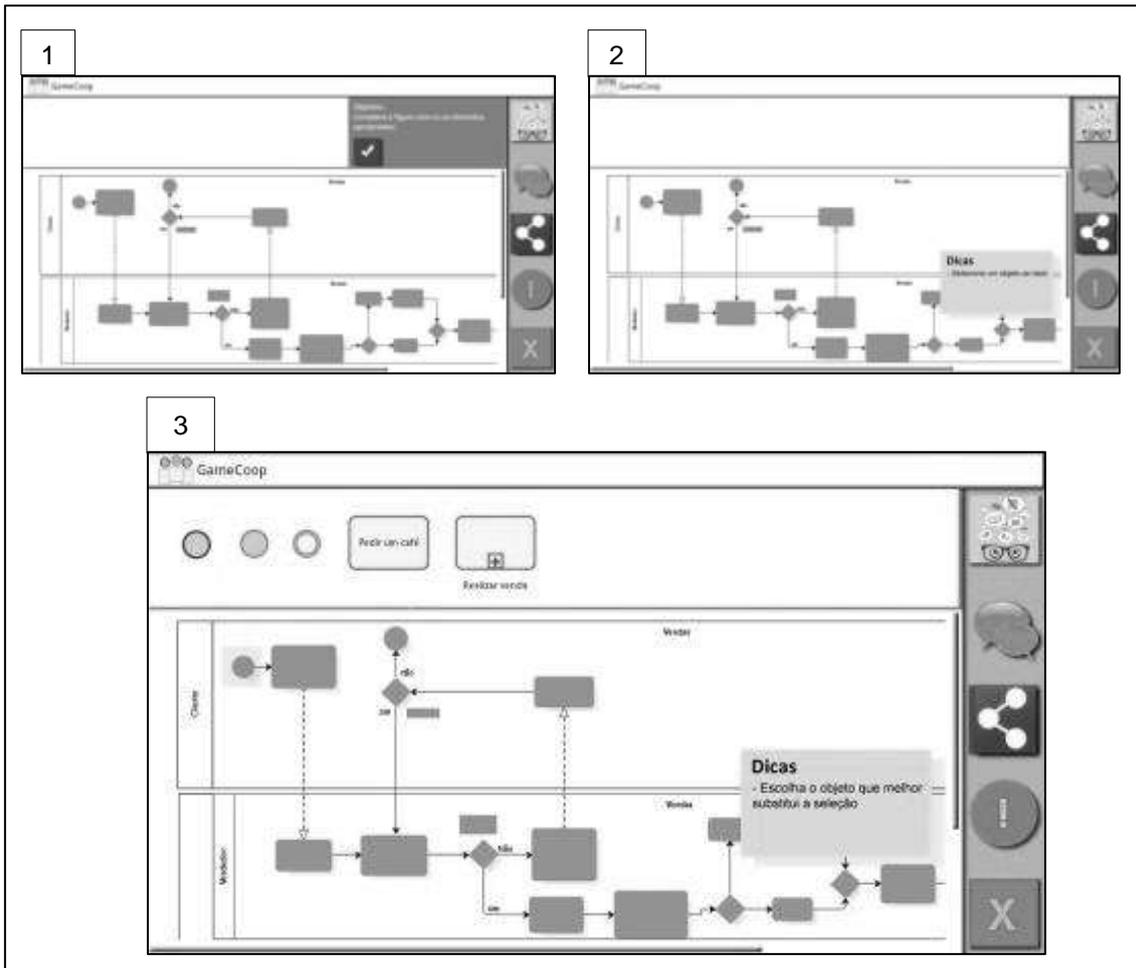


Figura 125: Sequência que mostra o construtor no modo quebra-cabeça.

Embora a Figura 126 mostre os elementos do tipo “Pool” (componente básico para a construção de processos), esses elementos são sugeridos quando o editor está no modo livre e ainda vazio, não permitindo a inclusão de outros elementos.



Figura 126: Construtor no modo livre.

Vale observar que nenhuma das opções é totalmente “livre”. Para desenvolver um editor livre seria necessário um analisador sintático e, também, semântico para a verificação do processo (especialmente para os “rótulos”), além de uma matriz de correção ainda mais complexa. Embora esses “analisadores” fizessem parte do projeto original do sistema tutor, optou-se pelo desenvolvimento de uma versão mais voltada ao controle do experimento. Além da facilidade na correção dos processos construídos pelos jogadores, essa versão permite maior controle sobre o tempo de execução das atividades (até mesmo por parte do jogador). O tempo para execução das atividades é uma das grandes preocupações com o experimento (afinal trata-se de um experimento para avaliar o modelo de córtex artificial e, portanto, o foco principal não é o sistema tutor).

Além do construtor, existem outros componentes que auxiliam o jogador em sua trajetória de aprendizado. O módulo de navegação de conteúdo, por exemplo, que faz uso do córtex de ensino-aprendizagem (Seção 8.7). O córtex “analisa” o perfil dos jogadores em relação aos estilos de aprendizagem (Capítulo 2, Seção 2.4) e permite ao sistema decidir “como” o conteúdo deve ser apresentado (formato), com base em suas características individuais. O modo como cada aprendiz assimila e processa a informação pode ser considerado como parte da personalização do processo de tutoria. No caso da Figura 127, o jogador recebe o conteúdo da atividade no formato de vídeo, conforme sua preferência identificada pelo córtex artificial do sistema (Teste de Felder – Apêndice 2).

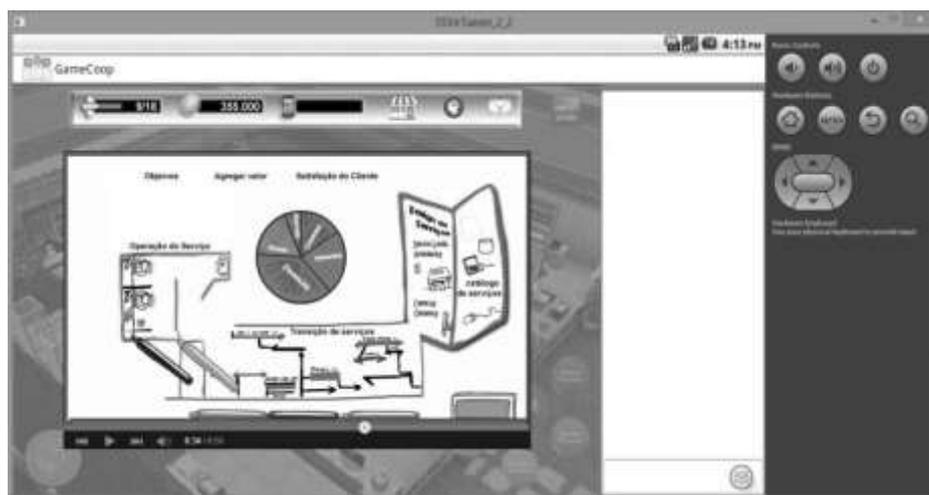


Figura 127: Tela do jogo – exibindo conteúdo em formato de vídeo.

Além dos estilos de aprendizagem, a formação do padrão de navegação foi

orientada pelo levantamento de outra característica, desta feita pelo Teste de Belbin, aplicado nos diferentes tipos de atividades. A teoria de suporte do Teste de Belbin é apresentada no Capítulo 3 (Seção 3.4) e a estrutura do teste encontra-se no Apêndice 3.

Quando está em uma fase (contexto), o aprendiz-jogador pode explorar três tipos de atividades individuais de acordo com seu perfil (de equipe). Existem três perfis, são eles:

- a. Estratégico: identifica o que deve ser feito, os objetivos globais do problema.
- b. Tático: identifica como deve ser realizado o trabalho, identifica os indicadores e organiza os recursos.
- c. Operacional: indica a necessidade de recursos, executa tarefas.

Vale ressaltar que, seja qual for o perfil do jogador, todos precisam passar pelo mesmo conteúdo da fase (apenas passam de maneiras diferentes uns dos outros).

Ao final de uma atividade o sistema apresenta, como complemento, um “teste rápido” relacionado ao conteúdo, conforme ilustra a Figura 128. Quando o aprendiz-jogador erra o teste, ele recebe o conteúdo novamente (seguindo os critérios do navegador inteligente de conteúdo) e outro teste do mesmo contexto é apresentado. Nesse caso, o teste é utilizado como um instrumento de ensino. Ao contrário do que se vê no sistema tradicional de ensino, onde avaliações formativas são utilizadas como verificação de desempenho por parte do aluno, no sistema tutor, o teste rápido é utilizado como diagnóstico do conhecimento pontual do aprendiz-jogador. Caso ele apresente deficiência em parte do conteúdo, o sistema reforça o aprendizado e o verifica através do teste. Para a apresentação dos testes, o sistema recorre novamente ao córtex artificial (nível e forma do conteúdo).

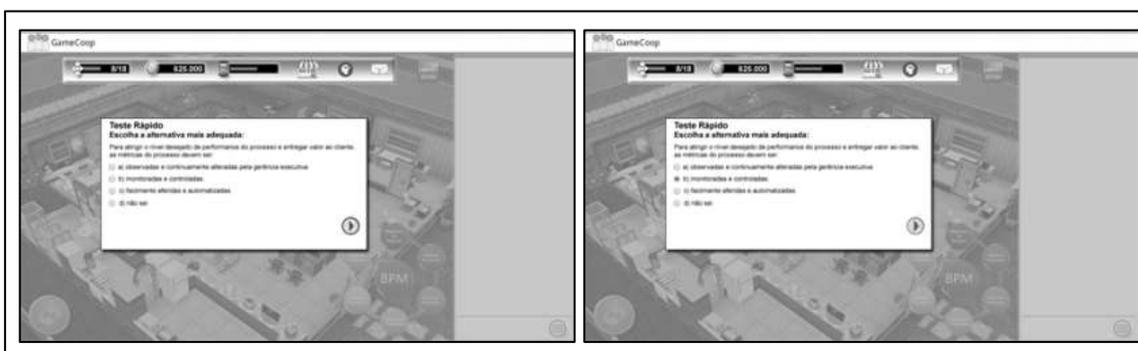


Figura 128: Exemplo de este rápido.

O sistema tutor inteligente sempre apresenta um *feedback* ao jogador, de maneira a mantê-lo motivado e atento ao jogo. No caso do teste rápido, se o jogador acerta total ou parcialmente (segue a mesma estrutura das questões do “pré-teste”, explicada anteriormente), erra ou marca “não sei”, ele sempre recebe uma mensagem do sistema. A Figura 129 a seguir apresenta um exemplo de *feedback* positivo, dado pela resposta certa à questão do teste rápido.



Figura 129: Exemplo de *feedback*.

Para os casos de erro ou “não sei”, o sistema possui o *feedback* “tente novamente”. O intuito é fazer com que o aprendiz-jogador saiba o conteúdo, mesmo que apenas parcialmente.

Além do *feedback* como reforço positivo, o jogo possui, também, um sistema de recompensas. Cada progresso é recompensado de alguma forma, seja com moedas e, em casos específicos, com troféus (bronze, prata ou ouro), como observado em diversos jogos (e seguindo as características de “*gamificação*”).

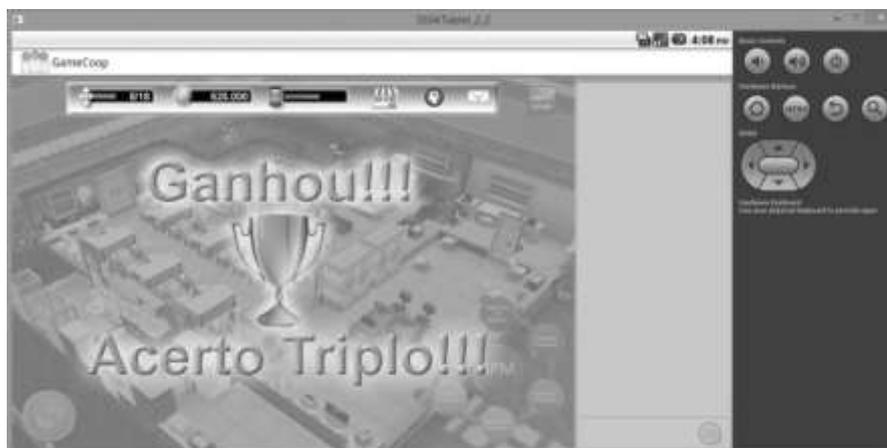


Figura 130: Exemplo de recompensa com o troféu "acerto triplo".

Por se tratar de um jogo cooperativo, exige-se a participação de dois ou mais jogadores. Como o jogo é multiusuário e requer trabalho em equipe torna-se necessária a comunicação entre os jogadores e, também, entre as instâncias do próprio jogo. A comunicação utilizada no jogo, quanto à temporalidade, a interação é síncrona, tipo de interação cujas características foram explicadas no Capítulo 3. Quanto ao direcionamento da comunicação, a interação utilizada no tutor é de “alguns-para-alguns” (tipo também explicado no referido capítulo), tendo em vista que pode existir mais de uma equipe jogando ao mesmo tempo.

Geralmente os jogos digitais possuem uma forma de identificar os jogadores, seja por meio de um apelido (*nickname*) ou de um “avatar”. Apelidos e “avatars” são as representações visuais e virtuais dos participantes do jogo. No caso do sistema proposto, servem apenas para identificar e personalizar os indivíduos no módulo de comunicação e compartilhamento. Para que não houvesse perda de tempo na escolha de aspectos físicos, foram disponibilizados apenas dois tipos de “avatars” simples, conforme o exemplo exposto pela Figura 131. A razão disso é a de não haver mais relevância nas características visuais individuais (comum em jogos, multijogadores, competitivos) em detrimento do coletivo. Vale observar que o “avatar” do jogador aparece sempre ao lado esquerdo com a parte superior (cabeça) na cor verde (símbolo de início de processo), diferenciado dos demais jogadores que aparecem do lado direito e com a superior na cor vermelha (símbolo de fim de processo).



Figura 131: Exemplo de uso dos "avatars" do jogo, utilizados na comunicação.

Como exposto no Capítulo 6, as regras são elementos fundamentais dos jogos. Sob a perspectiva do jogador, o *GameCoop* tem por objetivo ensiná-lo a analisar e modelar processos utilizando de uma notação específica.

Um processo, para ser bem sucedido, precisa otimizar o uso de recursos, ser ágil e entregar aquilo que propõe. O processo requer uma ordem lógica e, portanto, a lógica é uma regra natural do jogo. O jogador precisa aprender a organizar as etapas de um processo em uma ordem que faça sentido. Essa regra, no contexto de “processos”, é intuitiva (não há como trancar um armário com a chave dentro, por exemplo).

Além da lógica, o jogador deve desenvolver o conhecimento sobre a notação de modelagem (BPMN), deve ter noções de boas práticas de modelagem (como, por exemplo, utilizar verbos no infinitivo na nomenclatura de atividades). É necessário, também, que o aprendiz-jogador pense nos insumos e custos envolvidos na execução de um processo, bem como compreenda o uso de indicadores, o que possibilitará o acompanhamento e a verificação de resultados.

Após a execução do tutorial, o jogo passa a tratar de processos simples e intuitivos, o jogador só precisa focar em aprender os elementos básicos da modelagem (“pool”, eventos de início e fim, atividade, *gateway* – todos simples, até então). Pode-se perceber que, parte das regras do jogo está implícita na notação utilizada no conteúdo. Porém, existem outras regras, tais como:

- a. A estipulação de um tempo de duração para cada atividade (que varia de acordo com seu nível de dificuldade). A atividade deve ser resolvida dentro desse tempo, caso o jogador não consiga concluir a atividade é reiniciada.
- b. A reunião de recursos para construção dos processos. Esses recursos são encontrados nos mapas, durante algumas atividades. Caso o jogador não encontre poderá adquirir os recursos na loja do jogo, porém, tem um custo. Caso o jogador não disponha de moedas (necessárias para a aquisição dos recursos), fica dependendo dos outros jogadores (existem

gatilhos para evitar uma espécie de *deadlock*¹³⁸, pois o objetivo da aparência de jogo é apenas um artifício para motivar o aprendiz).

- c. A obtenção de recompensas pelo sucesso no desenvolvimento de cada tarefa, consistindo no ganho de certa quantia em moeda (moeda virtual do jogo), como forma de motivação.
- d. A realização exitosa, ainda que com acerto parcial, de um teste rápido ao final da atividade (reforço de conteúdo), como condição para seguir adiante. O objetivo é acertar totalmente ou parcialmente o teste. A resposta errada ou “não sei”, fazem o teste reiniciar.
- e. Para passar a fase de “trabalho em equipe” todos os jogadores devem estar na mesma fase (isso ajuda com o alinhamento do conteúdo). Os que chegam primeiro são incentivados a auxiliar os demais jogadores, ao invés de ficar apenas esperando (aprendizagem cooperativa através da interação social).

Como ocorre na maioria dos jogos observados, os jogadores ganham pontos de experiência em cada atividade desenvolvida. No *GameCoop* o valor dos pontos varia de acordo com os fatores relacionados a seguir:

- a. O tempo de execução (menor tempo maior pontuação);
- b. Precisão na execução (quanto menos erros de execução, maior a pontuação);

¹³⁸ *Deadlock* (interbloqueio, blocagem, impasse), é um termo muito utilizado no contexto de sistemas operacionais (SO). Refere-se a uma situação em que ocorre um impasse e o travamento do sistema, isto é, dois mais processos ficam impedidos de continuar suas execuções, ficam bloqueados, esperando uns pelos outros. No contexto do jogo, no caso raro de nenhum jogador ter coletado um recurso, o jogo apresenta um gatilho para que os jogadores possam continuar. Existe a possibilidade de compra do recurso necessário e, caso nenhum dos jogadores se disponha a comprar em um determinado tempo, o sistema escolhe o jogador que tenha o maior número de moedas (gatilho). A escolha do jogador com o maior número de moedas não se dá por uma decisão puramente lógica. O intuito é mostrar que é necessário o trabalho em equipe e, nesse caso, ser ganancioso (mesquinho ou egoísta) é implicitamente condenável, isto é, são características que não combinam com o trabalho em equipe (outra coisa pouco observada pelos tutores reais em trabalhos em grupo ou equipe).

- c. Quantidade de interações com outros membros da equipe durante a atividade (não importa se pediu ajuda ou ofereceu ajuda, ambos os casos ganham pontos);
- d. Número de tentativas em uma atividade (quanto maior o número de tentativas, menor a pontuação);
- e. Custo do processo (se o custo for diferente do planejado afeta a pontuação – por exemplo: se o custo for maior a atividade vale menos e, se o custo for menor a execução da atividade vale mais pontos de experiência);
- f. Respostas do teste rápido (além da pontuação relativa às tentativas, citadas anteriormente, o sistema pontua de forma distinta a resposta meio certa e a resposta certa).

Embora não seja um jogo competitivo, o jogador pode ver e comparar sua pontuação (“*score*”) com a pontuação dos demais jogadores da equipe por meio do *leaderboard* (ou *scoreboard* - quadro de pontuação) e, também, com os demais jogadores que estão executando ou que já executaram o jogo. Essa possibilidade permite ao jogador acompanhar sua pontuação e ficar mais atento ao jogo, buscando, naturalmente, melhorar seu desempenho. Vale lembrar que essa não é uma característica exclusiva do *GameCoop*, mas comum a diversos jogos digitais. Todas as informações sobre as pontuações são passadas durante a execução do tutorial. O *leaderboard* pode ser verificado pelo jogador enquanto não está envolvido em uma atividade. Para acessar a tela de *scoreboard* o jogador deve acessar o espaço do jogador e, posteriormente, *leaderboard* (interface principal > espaço do jogador > *leaderboard*). A Figura 132 apresenta a tela do *leaderboard* do jogo.



Figura 132: Interface do *leaderboard*.

8.9 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O SISTEMA

Como exposto brevemente na introdução do presente capítulo, os esforços ora despendidos voltam-se à construção de um Sistema Tutor Inteligente Híbrido com Aprendizagem Cooperativa e Baseado em Jogos Digitais. É sendo oportuno recordar os fundamentos do projeto apresentado, recorrendo à dissecação da nomenclatura adotada.

Como o nome sugere, trata-se de um sistema de aprendizagem, cujo tutor é um sistema de aprendizagem de máquina (*machine learning*) embutido (o córtex artificial). É híbrido porque possui dois tipos de inteligência artificial em seu arcabouço inteligência artificial conexionista (referente às redes neurais artificiais do córtex) e inteligência artificial baseada em sistemas especialistas. Por seu turno, o qualificativo cooperativo, aplicado à aprendizagem no sistema proposto, pode ser compreendido sob dois sentidos:

- 1) Os usuários do sistema são estimulados a aprender de forma cooperativa;
- 2) As redes neurais do córtex de ensino-aprendizagem do sistema aprendem a estratégia de ensino de maneira cooperativa.

Por fim, concluindo a recapitulação por meio da nomenclatura, diz-se que o sistema é baseado em jogos digitais por possuir elementos que levam os usuários a experimentar o ambiente de um jogo digital, como forma de estímulo e desafio. Tais elementos serão apresentados no decorrer dessa seção.

Com o intuito de não desmotivar o jogador-aprendiz e de não reduzir suas expectativas em relação ao jogo, optou-se por separar todo o sistema em três partes. A primeira parte é constituída da apresentação do experimento (Figura 133) e módulo de coleta de informações sobre: características de comportamentos e preferências individuais e, também do teste inicial de conhecimento sobre o conteúdo. A segunda parte é constituída do jogo para plataforma móvel (*smartphones* ou *tablets*), responsável pelo comportamento inteligente no uso de estratégias de ensino. E a terceira parte refere-se a outro módulo para plataforma *web* responsável por realizar uma avaliação do aprendizado do aluno (denominada de pós-teste de conhecimento) e, também, avaliações de satisfação referentes ao uso do sistema.



Figura 133: Tela de apresentação do experimento (web).

Quanto à ordem de execução dos módulos, a sequência segue a sequência é aquela descrita anteriormente, não sendo permitida sua alteração, ou seja:

- 1º Apresentação e a captação de dados dos aprendizes-jogadores;
- 2º Uso do sistema tutor baseado em jogo digital;
- 3º Execução das avaliações finais (conhecimento do conteúdo e de avaliação do sistema tutor).

Na fase de captação dos dados, pode-se observar a implementação das Áreas Funcionais Primárias do Córtex Artificial. Os “sensores” aparecem na forma de formulários de entrada de dados e formulários de testes. Os filtros sensitivos primários são implementados como regras de validação para a entrada dos dados. Uma vez que os dados são validados pelos filtros sensitivos primários do sistema, passam a ser armazenados na memória de dados primária, estruturada para armazenar os dados de entrada.

Recomenda-se que a primeira etapa (captação dos dados) seja executada pelo menos até dois dias antes da execução da etapa referente ao jogo. Não se trata de uma recomendação arbitrária – é importante que o aprendiz-jogador defina bem seu perfil. Para tanto, é salutar afastar-se de elementos de pressão, sejam produzidos por outros jogadores, para que inicie logo o jogo, sejam decorrentes do próprio tempo de duração

experimento. Outro motivo pelo qual pode ser útil seguir a recomendação é propiciar ao pesquisador a possibilidade de monitorar o tempo destinado exclusivamente ao processo de aprendizagem.

É possível observar, a partir das imagens apresentadas logo a seguir, que as páginas *web* foram desenvolvidas de forma simples e sóbria, porém, são amigáveis e tão intuitivas quanto possível. A razão disso é que o aprendiz-jogador não tem, nesse ponto, nenhuma ajuda presencial (tutor presente) para preencher o cadastro ou para orientar a como responder os testes.

Sempre que possível, é importante ressaltar, o sistema informa ao aprendiz-jogador que se trata de um experimento científico e que os dados pessoais e as informações sobre desempenho não são publicadas, são utilizadas internamente pelo sistema para a definição do perfil.



Figura 134: Página web da tela de cadastro.

A barra horizontal na (cor verde) que aparece canto superior direito funcionou como uma barra de progresso que mostra o quanto da etapa formação do perfil do aprendiz já foi concluída.

O formulário de cadastro é apresentado, com mais detalhes, na Figura 135. Vale observar que segue um padrão utilizado na internet, para cadastros. Os campos seguidos de asteriscos vermelhos são obrigatórios (por serem necessários para a formação do

perfil do indivíduo pelo córtex artificial). Os dados de contato não são obrigatórios e servem apenas para o caso do indivíduo necessitar de algum suporte ou de informações sobre seu próprio desempenho.

Nome completo: *

Apelido (login): * (exemplo: CAETANO_V, ANA_CAROLINA, CHICO_BOARDUE, SAI_COSTA)

Senha (máx. 6): *

Confirmação: *

Faixa etária: * Grau de instrução: *

Sexo: *

Digite o seu email: *

Confirmação email: *

Tel: () - (exemplo: (12) 8888-8888)

Cel: () - (exemplo: (72) 8888-8888)

CEP: - (exemplo: 8888-000)

Endereço: Estado:

<< Voltar Continuar >>

Figura 135: Formulário de cadastro.

Em todas as etapas do processo de criação do perfil do aprendiz, algumas ilustrações de procedimentos foram colocadas ao final de cada página, utilizando-se dos símbolos da notação empregada em gestão de processos (BPMN – Business Process Model and Notation)¹³⁹, com o objetivo de familiarizar o aprendiz-jogador com os símbolos utilizados no tutor, conforme pode ser visto na Figura 136. Porém, nenhuma informação ou instrução adicional sobre modelagem ou sobre a notação é mencionada. A ideia é que o usuário possa, posteriormente, identificar esses elementos (na execução do módulo do jogo).

Outra característica do componente *web* do sistema é o seu funcionamento no formato de um “*wizard*” bem comum aos programas de sistemas de informação. A execução nesse formato permite ao usuário percorrer todas as etapas, como um passo a passo sequencial. Também permite que o usuário volte e corrija alguma informação,

¹³⁹ Notação padrão para modelagem de processos de negócio, intrinsecamente ligada à metodologia de gerenciamento de processos de negócio, apresentando-se através de uma série de ícones padrões para o desenho de processos.

caso ele ache necessário. Novamente, destaca-se a necessidade de se separar esse processo do restante do sistema, para que o usuário se sinta à vontade para realizar essa etapa com atenção e cuidado.

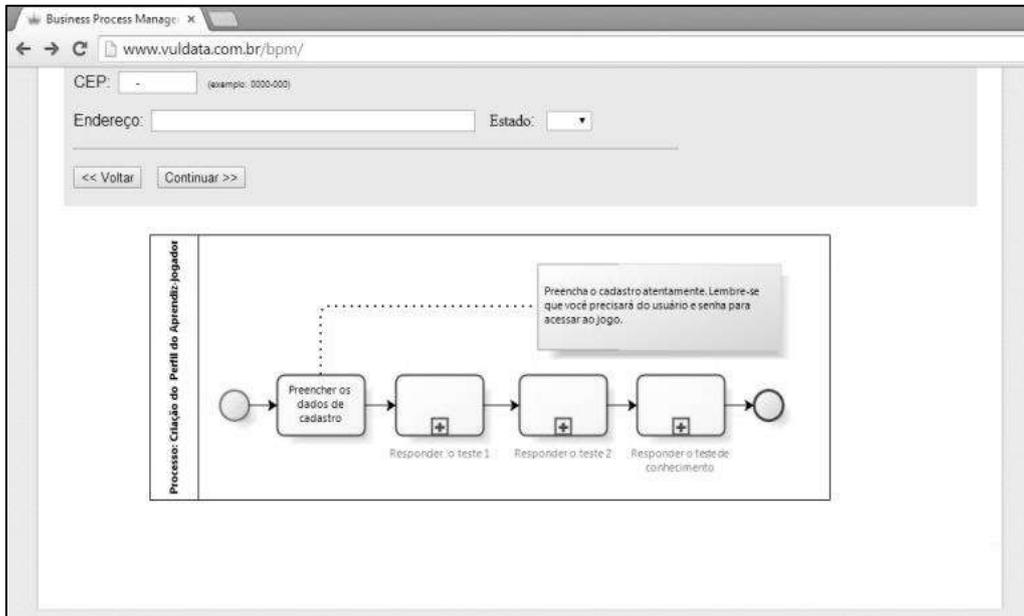


Figura 136: Processo no rodapé das páginas.

Após o usuário clicar em continuar, o sistema disponibiliza as instruções para execução do teste de estilos de aprendizagem, como pode ser visto nas figuras a seguir:

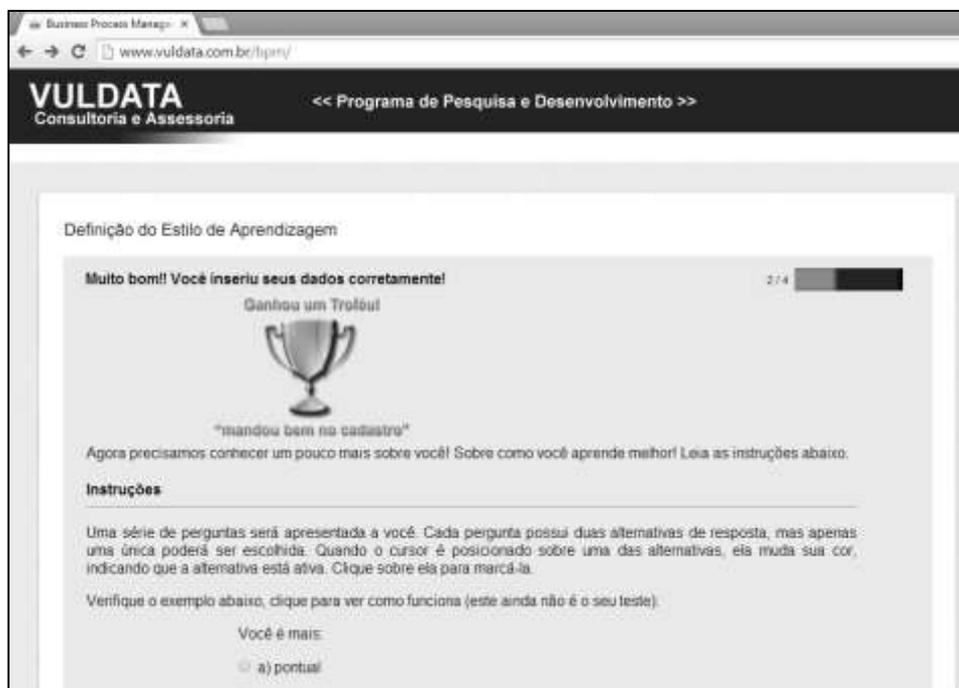


Figura 137: Tela de instruções para o teste de estilos de aprendizagem.

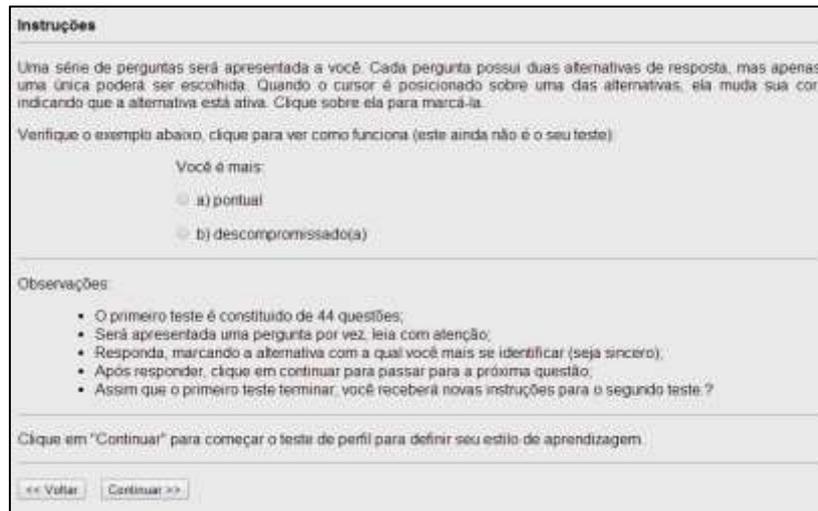


Figura 138: Instruções para o teste de estilos de aprendizagem.

Pode-se observar que, além dos símbolos referentes ao conteúdo, os elementos de jogos (barra de progressão e troféus) também são inseridos aos poucos. Isso é pensado para que a imersão no jogo se torne mais natural para o aprendiz não familiarizado com jogos digitais.

Após o teste de estilos de aprendizagem, o sistema apresenta o teste para definir as características de trabalho em equipe segundo a Teoria de Belbin (BELBIN 1981), descrita em detalhes no Capítulo 3 (Seção 3.4) e cuja estrutura é apresentada e explicada no Apêndice 3 do presente trabalho.



Figura 139: Tela de instruções para o teste de perfil de trabalho em equipe.

Mais uma vez uma vez é possível observar, por meio da Figura 139, que a motivação se dá pelo uso de recompensas (“troféus”). E, logo em seguida, são apresentadas as instruções para o teste (Figura 140).

Ok, agora vamos definir seu perfil de trabalho em equipe! Leia com bastante atenção e siga as instruções abaixo.

Instruções

- Serão apresentadas 07 (sete) seções neste teste.
- Para cada seção distribua um total de 10 (dez) pontos entre as afirmativas que você acredita que descreva mais precisamente seu comportamento e pensamento.
- Você deverá distribuir estes pontos entre as diversas afirmativas, em caso extremo você poderá aplicar 01 (um) ponto para cada afirmativa ou você poderá dar todos os 10 (dez) pontos para apenas uma afirmativa.
- Não existem respostas “certas” ou “erradas”.

Clique em “Continuar” para iniciar o seu teste de perfil de trabalho em equipe.

<< Voltar Continuar >>

Figura 140: Instruções para o teste de perfil de trabalho em equipe.

A Figura 141 mostra a estrutura das questões do Teste de Belbin (BELBIN 1981), em que o aprendiz-jogador precisa distribuir 10 pontos nos itens de “A” à “J”, como declaram as instruções. À medida que o jogador-aprendiz digita os números (o sistema faz o controle de consistência, ou seja, só permite que sejam digitados números, sendo o máximo 10), o sistema mostra quantos pontos faltam distribuir e só permite avançar no teste quando todos os pontos forem distribuídos de forma correta.

Seção 01

I – Creio que possa colaborar para um trabalho em equipe da seguinte forma:

A Enxergo facilmente novas oportunidades bem como as aproveito.

B Meus comentários tanto gerais quanto específicos são bem recebidos pela equipe.

C Gosto de trabalhar com um grande número de pessoas.

D A geração de ideias é um dos meus pontos fortes.

E Sou bom em identificar o valor da contribuição de cada pessoa para o alcance do objetivo.

F As pessoas sabem que as tarefas que assumo serão concluídas.

G Considero minha experiência e conhecimento técnico meus pontos mais fortes.

H Sou bastante rígido e rigoroso quando preciso fazer com que as coisas aconteçam.

I Tenho a capacidade de ver se uma ideia ou plano se aplica a um determinado problema.

J Consigo oferecer opções racionais e não tendenciosas para resolução de problemas.

Falta distribuir 10 pontos! Soma dos pontos já distribuídos: 0

Clique em “Continuar” para seguir com seu teste de perfil de trabalho em equipe.

<< Voltar Continuar >>

Figura 141: Seção do teste de perfil de trabalho em equipe.

Conforme visto anteriormente, no Capítulo 2, as avaliações podem ser utilizadas como ferramentas para auxiliar no processo de diagnóstico pedagógico. Portanto, o teste de conhecimento prévio sobre o assunto auxilia a determinar a forma mediante a qual o

conteúdo é apresentado ao aprendiz-jogador (principalmente quanto ao nível de dificuldade e, também, em relação à parte do conteúdo cujo aprendizado ele precisa reforçar). O sistema conta, também, com um questionário semelhante às provas de simulado comumente utilizadas nesse tipo de curso para certificação profissional. As questões estão armazenadas em um banco de dados e foram aleatoriamente escolhidas para cada aprendiz jogador. Tais questões abrangeram as partes mais importantes do conteúdo (seguindo os critérios observados nos simulados). A diferença ficou por conta do formato das respostas, dispostas assim para medir o conhecimento relativo sobre o conteúdo (em geral algumas questões de provas e simulados de certificação profissional apresentam esse formato de resposta, porém, não se leva em consideração a pontuação da questão meio certa). No formato de questão objetiva de múltipla escolha, as respostas estão divididas conforme ilustra a Figura 142.

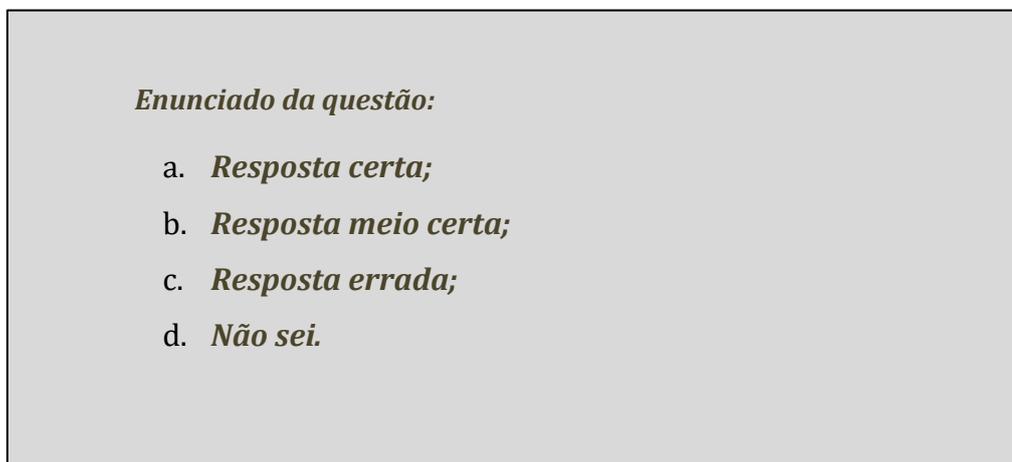


Figura 142: Modelo de questão adotado para os testes de conteúdo.

Os itens de resposta *a*, *b* e *c* são dispostos de forma aleatória (caso uma mesma questão apareça para dois aprendizes, poderão estar com as letras em ordem diferente), enquanto a letra *d* sempre consta como “Não sei”. Os aprendizes-jogadores são orientados, por meio de instruções, a serem honestos com as respostas do questionário e que o teste tem por objetivo medir o conhecimento prévio para ensiná-los melhor (diagnosticar para sanar as deficiências de conhecimento sobre o conteúdo).

Após o término de todo o procedimento de cadastro e testes, o sistema disponibiliza o *link* para o *download* do arquivo do jogo (*GameCoop.apk*) para instalação no dispositivo móvel compatível (vide Seção 8.10).

No caso de um aprendiz-jogador tentar acessar o jogo antes do dia marcado para o

experimento do qual faz parte, o jogo executa a sincronização dos dados (apenas para adiantar o processo) e, na sequência, apresenta um temporizador com contagem regressiva para o início da sessão do jogo (como se trata de aprendizagem cooperativa, não teria lógica deixar um aprendiz-jogador realizar o experimento de forma isolada), seguido de informações sobre a necessidade de se esperar o momento certo para a execução, tanto em relação ao jogo, quanto em relação ao experimento.

No dia marcado, quando o aprendiz-jogador entra no jogo, o sistema faz uma requisição interna ao responsável por monitorar o experimento. Só após receber a autorização o jogador-aprendiz consegue acessar o jogo (mecanismo necessário para garantir que somente os presentes acessem o sistema).

As medidas supracitadas têm como objetivo garantir a qualidade dos experimentos com o sistema tutor.

Após instalar o aplicativo no dispositivo móvel, o usuário tem apenas que pressionar sobre o ícone na tela do dispositivo para acessar o jogo, como qualquer outra aplicação móvel, conforme mostra a Figura 143.



Figura 143: Tela do dispositivo (emulador) - acionando o jogo.

Em seguida, conforme mostra a Figura 144, o sistema apresenta a tela de acesso (“login”), para que o usuário se identifique. Esse procedimento é necessário para que o módulo jogo carregue as informações sobre o perfil do jogador-aprendiz para que seja utilizado no córtex artificial (navegação no conteúdo, níveis e atividades).



Figura 144: Tela de acesso (botão de *login* ainda bloqueado).

A tela de acesso apresenta algumas orientações iniciais sobre a atividade (vide detalhes no Apêndice 4), deixando claro que se trata de um experimento científico. Para prosseguir o participante deve concordar pressionando o botão no final das instruções. Após concordar, o botão de *login* é desbloqueado e o aprendiz jogador pode entrar com a sua identificação de usuário e a sua senha para ter acesso (desde que o tutor responsável pelo experimento tenha iniciado a sessão).



Figura 145: Tela de acesso – (botão de *login* desbloqueado).

Quando o jogador efetua o acesso, o sistema executa uma série de testes com o objetivo de possibilitar o uso do sistema. Ele verifica conexão com a internet e com a fonte de dados (memória sensitiva primária), valida o acesso (filtro), dentre outras aferições preliminares. Feito isso, se os resultados dos testes forem favoráveis, o sistema sincroniza os dados do usuário (Figura 146) que, conforme já mencionado, são

necessários para o correto funcionamento do córtex de ensino-aprendizagem do jogo.



Figura 146: Tela de testes e sincronização dos dados.

Após a sincronização e verificação do acesso, o sistema entra no jogo, apresentando, em sua interface, o mapa do ambiente residencial. Logo após a tela ser apresentada pelo sistema, o tutorial de apresentação é iniciado, conforme mostra a Figura 147. O usuário pode ignorar algumas partes do tutorial, bastando clicar no botão “pular” (quando o mesmo estiver disponível). Nessa etapa é executado um teste de habilidade (três atividades distintas apresentadas pelo tutorial), cuja pontuação é utilizada como uma das entradas do córtex artificial (rede neural de navegação em níveis) e, portanto, não há como “pular”.

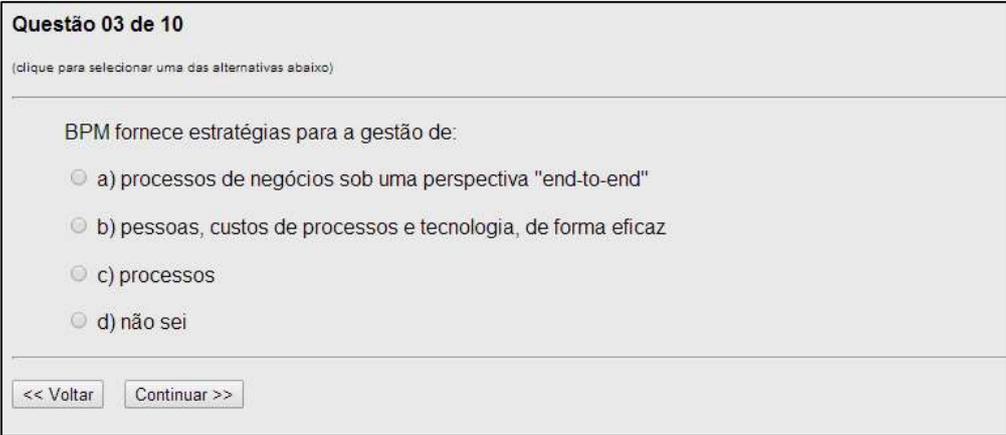


Figura 147: Interface do tutorial introdutório.

O sistema segue apresentando o tutorial todas as vezes que o aprendiz-jogador acessar um novo recurso ou interface do jogo.

Ao término do jogo, quando toda a equipe do aprendiz-jogador termina a última atividade, o sistema abre o navegador padrão do dispositivo com uma chamada para o “pós-teste” (para verificar o ganho de conhecimento sobre o conteúdo) e, na sequência, abre o questionário de satisfação (para que o aprendiz jogador possa avaliar o processo de aprendizagem).

Ao abrir o navegador na página de “pós-teste”, o aprendiz jogador recebe informações sobre a importância do teste para o experimento e também, as instruções para a execução (seguindo o mesmo padrão do “pré-teste”).



Questão 03 de 10

(clique para selecionar uma das alternativas abaixo)

BPM fornece estratégias para a gestão de:

- a) processos de negócios sob uma perspectiva "end-to-end"
- b) pessoas, custos de processos e tecnologia, de forma eficaz
- c) processos
- d) não sei

<< Voltar Continuar >>

Figura 148: Exemplo de questão do "pós-teste".

Ao terminar o “pós-teste” o sistema apresenta a nota final, estatística (descritiva) de respostas e o valor do ganho de aprendizagem - com base na Equação (3), apresentada anteriormente no Capítulo 2.

8.10 CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS

Como visto anteriormente o sistema foi desenvolvido em duas plataformas. Uma parte em plataforma *web* e a outra parte para plataforma de dispositivos móveis.

Além das razões já brevemente mencionadas, o uso do sistema em plataforma *web* se dá pela facilidade de acesso por parte dos voluntários, podendo ser acessada de qualquer lugar que tenha internet e um navegador.

Para o desenvolvimento das páginas “web”, utilizou-se o editor de programação Eclipse. As páginas foram desenvolvidas utilizando-se: HTML¹⁴⁰ (*HyperText Markup Language*, ou linguagem de marcação de hipertexto), CSS (*Cascading Style Sheet*, ou folhas de estilo em cascata), Java (JSP – *server* – e Javascript – *client*) – linguagens de programação voltadas para *web* (JANDL JUNIOR, 2002, DEITEL, 2001, TODD, 2003, LUCKOW, 2010). O sistema gerenciador de banco de dados utilizado para armazenar os dados coletados por essa plataforma Microsoft SQL-Server (RAMALHO, 2001, MAGALHÃES, 2011). A escolha desse sistema de banco de dados se deu por já existir a estrutura da página web (também era dependente dessa ferramenta, na qual as páginas do experimento foram integradas), porém foi necessária a confecção das páginas de cadastro, testes e, também, a arquitetura e implementação do banco de dados.

A escolha para uso de uma plataforma voltada para dispositivos móveis se dá, principalmente, por uma necessidade de distribuir o processamento dos dados, visando respostas rápidas por parte do sistema.

A parte do sistema para dispositivos móveis (o jogo) foi desenvolvida para a plataforma *Android*¹⁴¹. Segundo LECHETA (2013), *Android* é uma plataforma de desenvolvimento para aplicativos móveis que contém em seu núcleo um sistema operacional baseado em *Linux* (outro sistema operacional), tornando-o um programa bastante poderoso, inovador e flexível.

Novamente, utilizou-se o ambiente de desenvolvimento Eclipse, utilizando a linguagem de programação Java. Segundo LECHETA (2013), p. 31, o Eclipse é o ambiente de desenvolvimento preferido pelo Google, existindo um *plug-in* chamado ADT (*Android Development Tools*) para facilitar o desenvolvimento e testes e a compilação do projeto.

Embora a parte voltada para a plataforma móvel seja baseado em tecnologia *Android*, pode ser desenvolvida para outras plataformas operacionais.

Vale ressaltar que o aplicativo não poderia ficar disponível na *Play Store* (loja de

¹⁴⁰ HTML é uma linguagem de marcação utilizada na construção de páginas na Web. Documentos HTML podem ser interpretados por navegadores. A tecnologia é fruto da junção entre os padrões HyTime e SGML, segundo SILVA (2008).

¹⁴¹ Originalmente desenvolvido para versão 4.2 do *Android* com compatibilidade com a versão 2.2 (requerimento mínimo), por recomendação de programadores mais experientes nessa plataforma.

aplicativos da Google no sistema *Android*) para o grande público, devido ao fato de se objetivar um experimento científico controlado. Para conseguir que o aplicativo seja instalado e executado, o aprendiz-jogador foi instruído a mudar a configuração do sistema *Android*, para permitir o sistema baixar arquivos de fontes desconhecidas através da configuração de segurança (os aprendizes-jogadores foram aconselhados a restaurar a configuração anterior após o procedimento de instalação) – detalhes no Apêndice 4.

Para o *back-end* da plataforma móvel (APIs e bancos de dados) utilizou-se os serviços da Amazon (*AWS – Amazon Web Services*). Como exemplo de ferramentas pode-se citar o banco de dados MySQL (*RDS – Relational Database Service*). A escolha se deu pela facilidade de integração com aplicações móveis, alto desempenho e custo zero do uso da ferramenta no período do desenvolvimento e execução dos experimentos.

Procurou-se aprofundar muito pouco nos aspectos técnicos ou em detalhes técnicos de funcionamento para que a leitura deste não se torne árida e enfadonha, por não ser o foco do trabalho. Vale ressaltar que tecnologias mudam constantemente, descrevê-las em detalhe poderia não ser muito útil, mesmo na perspectiva de um futuro próximo.

Seria essencial para trabalhos futuros, reduzir a dependência técnica de outros mecanismos para que córtex artificial possa desempenhar seu papel, sem maiores riscos ou prejuízos por falha técnica de algum componente básico e, talvez a aplicação de técnicas de sistemas distribuídos.

PARTE III

Experimentos e Resultados

CAPÍTULO 9: EXPERIMENTOS E RESULTADOS

"Quando você elimina o impossível, o que sobra, por mais incrível que pareça, só pode ser a verdade."

(Arthur Conan Doyle)

9.1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a experimentação é uma das formas fundamentais de se produzir conhecimento. Segundo JOHNSTON e PENNYPACKER (1993), a experimentação é uma maneira de simplificar as condições sob as quais a observação é feita, de modo a possibilitar a observação de um fenômeno de forma clara. Segundo os autores, um experimento é constituído de uma série de ações as quais resultam em um conjunto de observações particulares que não seriam possíveis de outra forma.

Com o intuito de avaliar o funcionamento do córtex artificial (córtex de ensino-aprendizagem) integrado ao sistema tutor inteligente (Capítulo 8), este capítulo apresenta uma situação experimental específica. Tanto o experimento, com suas etapas, quanto a metodologia utilizada na coleta e análise dos dados e os resultados empíricos obtidos são descritos ao longo deste capítulo.

O córtex artificial, utilizado nos experimentos aqui descritos, é projetado a partir de múltiplas redes MLP, explicadas no Capítulo 4. A escolha de redes com aprendizado supervisionado se explica pela quantidade de dados necessários, tempo e outras limitações inerentes ao presente trabalho. Acredita-se, porém, que com tempo e disposição, nada impede de testar o modelo com outras redes (incluindo um híbrido de redes supervisionadas e outras não supervisionadas).

O Capítulo 9 está organizado da seguinte maneira: na Seção 9.2 a situação experimental é delineada, explicando o experimento, descrevendo o caminho seguido e as decisões assumidas para as alternativas de experimentação. Em seguida, na Seção 9.3 realiza-se a análise dos resultados obtidos, com o objetivo de evidenciar as

características amostrais (análise descritiva) e de observar as possíveis generalizações (análise inferencial). A Seção 9.4 apresenta a análise de aprendizagem do córtex-artificial, por meio de seus ciclos de aprendizagem.

9.2 O EXPERIMENTO

O experimento é constituído pelos seguintes passos:

- 1) Seleção das variáveis;
- 2) Coleta de dados;
- 3) Análise e filtragem dos dados;
- 4) Treinamento do córtex artificial;
- 5) Análise dos resultados obtidos.

Nas seções subsequentes são descritos os detalhes dos procedimentos realizados em cada uma dessas etapas.

9.2.1 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS

Conforme já mencionado, o córtex artificial trata da aplicação de estratégias necessárias (dentro do seu escopo de desenvolvimento) para ensinar o aprendiz-jogador. Para isso, torna-se necessário que ele aprenda sobre o comportamento individual de cada um dos tipos de aprendizes.

O processo de ensino-aprendizagem, seja baseado do modelo tradicional ou utilizando-se de ferramentas tecnológicas, pode envolver inúmeras variáveis e a tarefa de analisá-las pode se tornar um processo bastante longo e complexo. Com o objetivo de manter o foco no tema do presente trabalho e de criar condições para a avaliação dos resultados de desempenho do córtex artificial, a análise restringe-se à observação das variáveis relacionadas às características individuais dos aprendizes, das variáveis relacionadas à retenção de conhecimento (aprendizagem) e, também, de variáveis relacionadas à satisfação, conforto e fadiga dos aprendizes durante o processo de aprendizagem.

Como visto anteriormente no Capítulo 2, no campo da educação os testes podem ser utilizados como ferramentas de diagnóstico pedagógico. No presente trabalho não é diferente, os testes de conteúdo resultam em uma avaliação do conhecimento do

aprendiz-jogador durante todo o processo de aprendizagem.

Para que o córtex desenvolva o conhecimento sobre os perfis dos indivíduos, utiliza-se um conjunto de variáveis que permitem a personalização da orientação sobre o conteúdo e nas atividades interativas e de cooperação presentes no jogo. O objetivo maior é identificar características comuns na população em estudo, relacionadas ao grau de aproveitamento no processo de aprendizagem. As variáveis relacionadas às características individuais do aprendiz foram levantadas através de cinco tipos de dados:

- 1) Identificação demográfica: sexo, faixa etária, grau de instrução;
- 2) Teste de habilidade: para indicar o grau de familiaridade e facilidade do indivíduo para com jogos digitais, em especial a interface utilizada no sistema proposto;
- 3) Questionário de estilos de aprendizagem: para identificar a melhor forma de transmitir o conteúdo ao aprendiz;
- 4) Questionário de autoavaliação para trabalhos: para indicar o papel do indivíduo em uma equipe, quando em uma atividade de cooperação;
- 5) Pré-teste do conteúdo: Identificação do grau de conhecimento sobre o conteúdo apresentado pelo sistema tutor.

Seguindo com a investigação sugerida no Capítulo 6 (Seção 6.8), as variáveis de identificação demográfica são obtidas através do cadastro do aprendiz.

A pesquisa sobre a ferramenta mais adequada para a identificação dos estilos de aprendizagem – cuja teoria é exposta no Capítulo 2 (Seção 2.4) do presente trabalho – apresentou diversos tipos de teorias e seus respectivos testes. Entretanto, com o intuito de proporcionar maior credibilidade ao estudo, buscou-se empregar um instrumento particularmente relevante e efetivamente utilizado, o “Inventário de Estilos de Aprendizagem” de Richard M. Felder (FELDER, 1999), cujas características teóricas são evidenciadas no Capítulo 2 (Seção 2.4.3) e estruturais no Apêndice 2 do deste estudo. Vale ressaltar que a escolha do Inventário de FELDER (1999) se fundamenta no fato de ser uma ferramenta testada e publicada, pela facilidade de implementação e, principalmente, por ter apresentado resultados satisfatórios em estudos anteriores

envolvendo Sistemas Tutores Inteligentes (MEIRELES, 2003, CORTEZ, 2004).

O Inventário de FELDER (1999) foi adaptado ao módulo de cadastro do sistema tutor, sem prejuízo à metodologia de aplicação do teste original e para que não afetasse o jogo. O teste apresenta, como resultado, oito valores, que representam as dimensões de aprendizagem do modelo de FELDER (1995), descritas anteriormente. Os valores dessas dimensões, obtidas através do questionário, são convertidas em parte da entrada de dados do córtex, ou seja, têm-se mais oito variáveis, cada uma representando uma dimensão do modelo de estilo de aprendizagem de FELDER (1995).

A ideia de implementação de um sistema de tutoria baseada em jogos digitais, implica aprendizagem prática. Da mesma forma que o Inventário de FELDER (1999) foi implementado com o intuito de mapear a melhor forma de apresentar o conteúdo ao aprendiz, o Teste de Belbin (BELBIN 1993), cuja teoria é explicada brevemente no Capítulo 3 (Seção 3.4), e estrutura apresentada no Apêndice 3 do presente trabalho, também foi utilizado. Nesse caso, porém, seu uso voltou-se ao mapeamento das atividades práticas necessárias ao bom desempenho de cada indivíduo com o perfil identificado pelo próprio teste. O Teste de Belbin (BELBIN 1993) também foi adaptado ao módulo de cadastro (modelo do aluno) no sistema tutor, fazendo o diagnóstico do perfil de trabalho em equipe do aprendiz, ensejando a opção por reforçar uma característica forte ou desenvolver uma característica fraca. As variáveis correspondentes às 9 indicações de papéis em equipe são convertidas também em entradas de uma das RNA's do córtex artificial.

Um teste de conhecimento sobre o conteúdo (pré-teste) é realizado antes de entrar no ambiente do jogo. A aplicação do mesmo ocorre através de um conjunto de questões objetivas de múltipla escolha, diferenciando-se pela forma de avaliação que se dá pelo nível de conhecimento relativo ao conteúdo a ser apresentado. O resultado do pré-teste foi verificado através de quantis (tercil, quartil e quintil), com intuito de avaliar linhas de corte, posteriormente, transformado em mais uma entrada do córtex. Além disso, ao final do curso, o pré-teste é comparado com o pós-teste (com a mesma estrutura do pré-teste), com o objetivo de avaliar o nível ganho de conhecimento sobre conteúdo.

Para completar o conjunto de variáveis de entrada no córtex, tem-se o resultado do teste de habilidade, medindo a velocidade de digitação, velocidade de movimento de objetos na tela, índice de acertos em busca de objetos, índice de acertos na ordenação de

objetos na tela. Foi criado um teste bem específico, utilizando-se para isso um conjunto de atividades práticas, baseadas na interface do jogo. Essas atividades, apresentadas pelo tutorial, são realizadas pelo aprendiz, para, além de se familiarizar com a interface, ter sua percepção e habilidade mensurada. O teste de habilidade não é percebido, pelo aprendiz, como um teste e sim como um conjunto de instruções básicas para operar o jogo (como observado no início da maioria dos jogos digitais analisados). Reitera-se que o teste de habilidade possui bastante proximidade com as formas de apresentação de conteúdos e de atividades utilizados no sistema tutor, baseando-se em exemplos práticos pré-formatados¹⁴². Ao final da instrução inicial são obtidos valores para cada item observado no teste. Os valores de cada uma das 5 variáveis de mensuração citadas acima variam de 1 a 5, indicando o grau de habilidade do menor valor ao maior valor. Por exemplo, mensurando-se a velocidade de digitação: 1 equivale a lento e 5 a rápido (utilizando-se faixas de tempo como referência). Os valores foram somados e normalizados em uma ordem de 0 a 10 de forma a formar um índice único de habilidade, utilizando-se a normalização min-max, ilustrada pela equação (25).

$$v' = \frac{v - \min A}{\max A - \min A} (\max A_{\text{novo}} - \min A_{\text{novo}}) + \min A_{\text{novo}} \quad (25)$$

Onde: v' é o novo valor (normalizado); v é o valor original do atributo A ; $\min A$ é o valor mínimo do atributo A ; $\max A$ é o valor máximo do atributo A ; $\min A_{\text{novo}}$ é o novo valor mínimo para o atributo A ; $\max A_{\text{novo}}$ é o novo valor máximo para o atributo A .

Vale lembrar que o dado de habilidade é utilizado também como entrada das RNAs, conforme apresentado mais adiante.

Para a avaliação dos resultados dos experimentos, observa-se:

- a. Notas (iniciais e finais);
- b. Ganho normalizado (melhoria ou retenção do conhecimento);
- c. Satisfação do aprendiz;
- d. Conforto;
- e. Fadiga;
- f. Eficiência.

¹⁴² Inspirado em parte no trabalho de CORTEZ (2004) que integra mapas conceituais como forma de teste de conteúdo em um sistema tutor inteligente.

Com as variáveis já definidas, passou-se ao processo de desenvolvimento da metodologia de ensino e de avaliação, vista no Capítulo 7.

9.2.2 COLETA DE DADOS

Parte da etapa de coleta de dados ocorreu simultaneamente ao desenvolvimento do sistema proposto. O desenvolvimento da metodologia de ensino e avaliação mencionada anteriormente, na Seção 8.5 do Capítulo 8, além de permitir a percepção sobre as necessidades dos aprendizes, rendeu a oportunidade de medir retenção de conhecimento na modalidade de ensino tradicional baseado em exposição e avaliação (contendo atividades práticas).

Os cursos ministrados nessa etapa podem ser considerados como a primeira parte da coleta de dados, cujo objetivo foi ter uma referência para posterior comparação entre os resultados obtidos pelo modelo tradicional de ensino e aqueles obtidos com o uso do sistema aqui proposto.



Figura 149: Curso piloto de BPM - Gerenciamento de Processos (BPMN).

Com a ferramenta de coleta de dados (sistema proposto, apresentado no Capítulo 8) pronta e testada, foram realizados vários experimentos com o objetivo de coletar

dados sobre o perfil, sobre a navegação no jogo e sobre o desempenho dos aprendizes-jogadores, entre outros. Algumas coletas de dados foram realizadas por meio de navegação livre (sem a ação do córtex artificial) no ambiente do jogo. Dessa forma, os jogadores exploram o ambiente, buscando conteúdos, descobrindo, por conta própria, formas de resolver os desafios (atividades). Além de servir de ponto referencial, o experimento serviu também à seleção dos dados necessários para a alimentação das RNAs do córtex artificial, utilizado no sistema tutor inteligente (com o uso do córtex artificial).

Os experimentos foram monitorados e controlados por um tutor humano. O objetivo disso foi de garantir o entendimento e cumprimento das regras de conduta e, também, garantir o fluxo do jogo.

Apenas para efeito de informação, foi sugerida a competição entre as equipes, o que motivou a cooperação entre os indivíduos de cada equipe (sem interferência direta). Para isso foi, utilizado um sistema constituído de um painel de controle (*tablet*) e de um painel central para visualização (*smart tv, ou projetor*) – baseando-se na ideia do uso de elementos do tipo *PBL (points, badges and leaderboards)*, apresentados pela “*gamificação*”. O painel apresenta uma visão geral de resultados (entre equipes, diferente do que há dentro do jogo), mostrando equilíbrio e motivando. Algumas descobertas importantes tiveram lugar, como forma de cooperação passiva, mostrando exemplos, perguntas frequentes e partes do tutorial (como vídeos aleatórios). Esse módulo complementar não é interativo, mas informativo apenas.

Cada experimento de coleta constituiu-se das 3 etapas citadas anteriormente:

- 1) Formação do perfil;
- 2) Jogo;
- 3) Avaliação.

Na primeira etapa, a formação do perfil, o usuário é informado de que a metodologia é experimental e visa captar o máximo de informações individuais, com a finalidade de proporcionar um ambiente de ensino adaptativo e mais eficiente. Após ler o aviso e concordar em participar, o aprendiz-jogador é orientado a preencher o cadastro, responder aos questionários de preferências por estilos de aprendizagem (de Felder – Apêndice 2) e, também, pontuar os itens do teste de perfil de trabalho em equipe (de Belbin –Apêndice 3), sobre o seu comportamento em equipe. Posterior a

isso, existe o momento em que ele faz o pré-teste de conhecimento sobre o conteúdo, só após realizar todos os passos acima é que a inscrição se conclui e o ambiente do jogo é liberado. Todo processo de inscrição é realizado com o uso de uma ferramenta voltada para a plataforma *web* (vide Capítulo 8).

A segunda etapa é o jogo propriamente dito. O objetivo é que o aprendiz-jogador receba o conteúdo necessário, segundo suas preferências individuais, para cumprir os desafios. Conforme mencionado anteriormente, os jogadores exploram o ambiente, recolhendo recursos e desenvolvendo soluções para os desafios. Sempre recebendo *feedbacks* sobre o seu desempenho individual (neste caso mostrado apenas no dispositivo do jogador-aprendiz), conforme apresentado no Capítulo 8.

Vale lembrar que o jogo permite a comunicação entre os jogadores, fazendo com que a troca de informações sobre as “fases” também possa auxiliar no desenvolvimento do jogo.

Após definir o nível do conteúdo, a ferramenta de coleta de dados (navegação livre) mostra todas as formas de apresentação de conteúdos disponíveis para o contexto explorado no nível difícil (texto, vídeo, mapa conceitual, perguntas frequentes, exemplos), para que o aprendiz-jogador escolha a forma de sua preferência para receber o conteúdo. Ressalte-se que esses conteúdos são curtos e sua exposição toma pouco tempo do usuário, que logo retorna à atividade (como observado em diversos jogos digitais).

Ao concluir a atividade, o jogador aprendiz recebe um *feedback*. Dependendo do desempenho (em geral relacionada ao tempo ou à precisão) na execução da tarefa, segundo alguns critérios, o usuário pode receber troféus ou apenas uma mensagem, mas sempre como forma de incentivo, mantendo-se o fluxo do jogo.

Somente quando o aprendiz- jogador finaliza as atividades relacionadas a um contexto escolhido, é que ele pode passar para outro. O nível desse novo contexto (atividade) é indicado pelas regras contidas no Quadro 5.

Vale lembrar que os dados coletados nesse experimento são necessários, tanto para o treinamento das redes neurais do córtex de ensino-aprendizagem (parte do sistema proposto), quanto servem como um segundo ponto referencial para comparar resultados. Esses dados foram divididos em três categorias, levando-se em conta o perfil

do aprendiz-jogador, sendo elas:

- 1) Indicações de níveis (navegação nos níveis);
- 2) Indicações ordem de atividades (navegação nas atividades);
- 3) Indicações de formas de conteúdo (navegação nas formas).

Assim como nos cursos de formação do conteúdo, quando termina de executar o “jogo livre” (ferramenta de coleta de dados) , o aprendiz-jogador é orientado a avaliar o jogo, dando sua opinião quanto ao experimento (essas informações permitem que se faça a comparação entre o modelo tradicional ensino, com o sistema tutor livre e com o sistema tutor inteligente). Tais dados são coletados mediante o preenchimento de um questionário com, escolha no formato de uma pesquisa de opinião, disponibilizado via *web* após a execução do experimento (antes de disponibilizar os resultados do teste final - nota final e ganho).

Com o intuito de apurar dados suficientes para o estudo em questão, prevendo que poderiam ocorrer problemas técnicos, abstenções e eliminação de parte dos dados por filtragem e validação, foram programados 20 treinamentos, cada um com 28 participantes, aproximadamente. Dada a dificuldade de formar novas turmas com quantidade de alunos que viabilizasse a execução do curso, finalizou-se a fase de coleta dando como concluídos 17 treinamentos, totalizando 472 inscritos. Dos 472 indivíduos inscritos, apenas 438 concluíram o experimento (92,80%). Durante o experimento foram identificados 57 casos de problemas de ordem técnica no funcionamento do tutor (12,08% - esperava-se 10%, o que é bastante comum e aceitável). Embora tenham sido resolvidos no mesmo momento, esses casos poderiam comprometer o estudo e foram separados (através de análise de *log* de dados de erro¹⁴³), restando 381 casos válidos para estudo (80,72%, considerando-se a quantidade total de inscritos).

Após a coleta de dados, o próximo passo foi realizar a análise e filtragem dos dados cujos procedimentos são descritos a seguir. Descrevem-se, também, as regras

¹⁴³ O termo “*log* de dados” é utilizado para descrever o processo de registro de eventos relevantes (neste caso “erros”) em um sistema computacional. Esse tipo de registro, além de servir para auditoria e diagnóstico de problemas, pode ser utilizado também para restabelecer o estado original de um sistema ou para que um analista tenha a possibilidade de conhecer o seu comportamento no passado.

obtidas por meio de tais procedimentos. Essas regras foram utilizadas para refinar os filtros sensitivos e, também para estabelecer as regras dos filtros cognitivos do córtex.

9.2.3 ANÁLISE E FILTRAGEM DOS DADOS

Na fase de análise e filtragem de dados, realizam-se a análise e o pré-processamento dos dados para posterior treinamento das redes neurais e estabelecimento das regras para as áreas do córtex (filtro sensitivo, filtro cognitivo e reguladores).

Durante a análise dos dados coletados, são identificadas certas incoerências em relação à navegação em níveis de dificuldades. Pode-se considerar como “incoerência”, por exemplo, a opção pelo nível fácil da próxima atividade, quando o indivíduo acertou o teste específico no nível difícil. A Figura 150 ilustra algumas das situações identificadas.

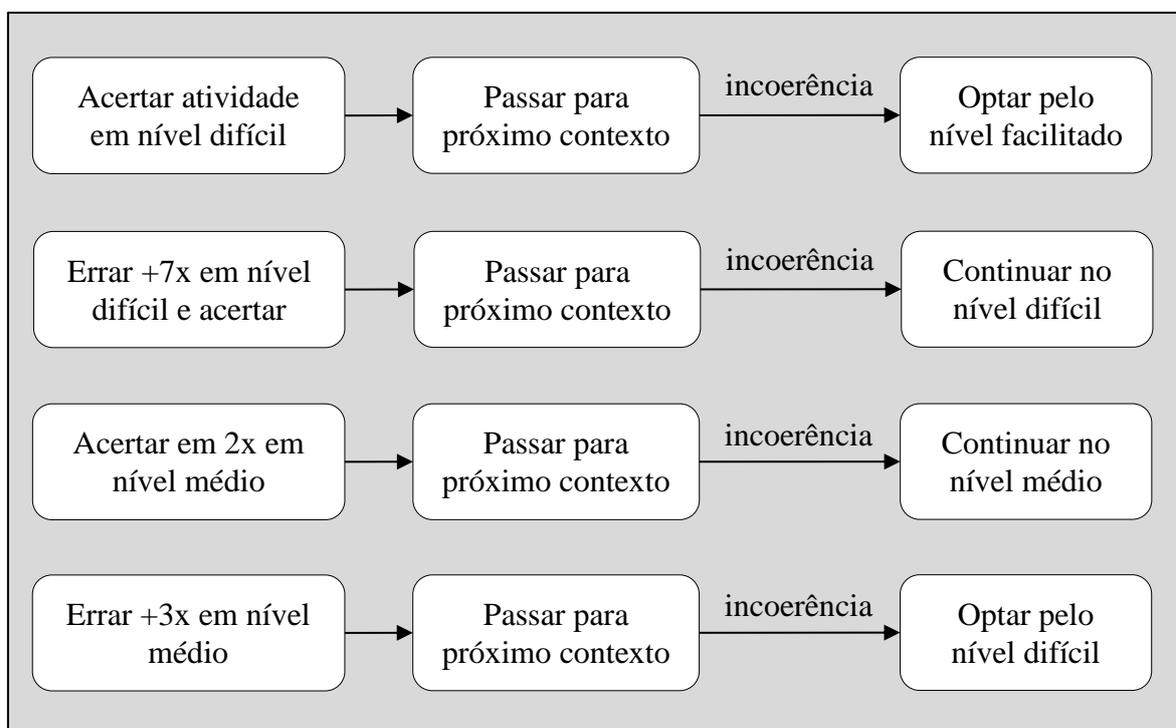


Figura 150: Exemplos de incoerência.

A partir dessa primeira análise são desenvolvidas regras¹⁴⁴ de controle de incoerências para o regulador da área funcional secundária emissora do córtex de ensino-aprendizagem, apenas quanto à rede neural que trata dos níveis. Tais regras são

¹⁴⁴ Desenvolvidas com o auxílio da pedagoga, especializada em neuropedagogia, Luzimar Cardoso, Coordenadora Pedagógica na Secretaria Municipal de Educação de Goiânia e professora no SENAC-GO.

adotadas pelo sistema com o intuito de auxiliar o aprendiz-jogador, permitindo-lhe acesso a diversos níveis de dificuldade em relação ao conteúdo ou na execução de uma tarefa, sem que essa mudança de níveis torne seu desempenho ruim. Além disso, possibilitam tratar incoerências em relação à busca pelo conteúdo necessário à solução do desafio. O uso de reguladores auxilia na formação de uma memória comportamental mais refinada. Conseqüentemente, pode melhorar o desempenho do córtex à medida que se realiza novos ciclos de aprendizagem.

As regras probabilísticas do regulador da área podem ser mais bem entendidas observando-se o quadro a seguir:

Quadro 5: Regras de Indicações de Níveis.

Nível de origem	Tentativas	Probabilidade de indicação local de conteúdo (%)			Próximo Nível	Prob. Indicação (%)
		Difícil	Médio	Fácil		
Difícil	$T \leq 2$	65	30	5	Difícil	60
	$3 \leq T \leq 4$	50	40	10	Médio	30
	$T > 5$	25	60	15	Fácil	10
Médio	$T \leq 2$	60	30	10	Difícil	45
	$3 \leq T \leq 4$	15	70	15	Médio	30
	$T > 5$	10	30	60	Fácil	25
Fácil	$T \leq 2$	15	60	25	Difícil	10
	$3 \leq T \leq 4$	10	50	40	Médio	55
	$T > 5$	5	30	65	Fácil	35

Pode-se supor, por exemplo, que o aprendiz-jogador esteja no nível difícil e se encontre explorando o ambiente em busca de uma atividade (correspondente a um contexto). No caso de não ser bem sucedido ao tentar realizá-la pela 5ª vez, o sistema localiza a regra referente ao nível de origem “difícil” e número de tentativas maior que 5. O resultado é a indicação local, ou seja, dentro do mesmo contexto, é de 25% para o conteúdo no nível difícil, 60% para o conteúdo do nível médio, 15% para o nível fácil. O sistema continua no mesmo contexto, porém, muda a complexidade de abordagem (como parte da estratégia de ensino) ¹⁴⁵.

¹⁴⁵ O sistema realiza um sorteio, levando em conta a probabilidade de acesso aos níveis de conteúdo, os mais fortes, ou seja, os que possuem probabilidade maior têm maiores chances de serem acessados. Inspirado no que ocorre em um torneio para seleção de descendentes em algoritmos genéticos (outra técnica de computação flexível).

No funcionamento do córtex artificial, os dados e a rede de níveis são apresentados e, por meio do processamento de suas saídas, um conjunto de visitação é gerado. Esses valores são multiplicados aos valores das probabilidades da tabela de regras. O mesmo ocorre na definição do próximo passo do navegador de níveis do tutor, o sistema dispõe do perfil do aprendiz, das regras probabilísticas (de indicações locais), o nível visitado e da resposta do exercício. O sistema resgata do conjunto de regras simbólicas, a regra de indicações probabilísticas para a situação local específica. A probabilidade da regra resgatada é multiplicada pela probabilidade correspondente do perfil do estudante (indicações globais), gerando uma probabilidade resultante. Com a aplicação das regras (locais), reduz-se a ocorrência de incoerências e as indicações para cada nível são reforçadas ou atenuadas. De posse da resultante distribuição de probabilidades, o sistema escolhe aleatoriamente (baseado em tal distribuição) o próximo nível a ser visitado, na próxima atividade.

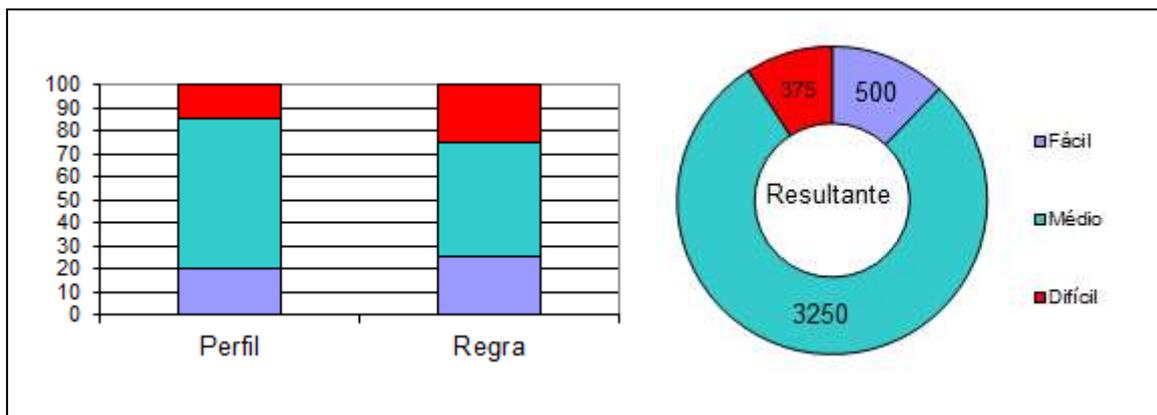


Figura 151: Exemplo do uso de regras de navegação em níveis (regulador).

Observando-se a figura acima, percebe-se que o nível médio tem maiores chances de ser visitado na próxima atividade. O sistema tutor proposto possui um mecanismo que utiliza essa “roleta” para o sorteio, evitando a interferência por parte do aprendiz¹⁴⁶.

Para os experimentos, foram considerados como dados válidos somente aqueles referentes à execução completa da ferramenta de coleta de dados por parte dos aprendizes-jogadores e que não apresentaram problemas técnicos (interferência do tutor humano).

¹⁴⁶ Vale ressaltar que o mecanismo do sistema tutor para escolha do próximo nível foi inspirado na forma de sorteio semelhante ao utilizado em algoritmos genéticos. Segundo LIDEN (2008), algoritmos genéticos são aproximações de fenômenos vistos na natureza (outro tipo de inteligência artificial).

Com a observação dos dados coletados (memória comportamental), foram verificados diferentes desempenhos de jogo (variando nota final e ganho normalizado), selecionando, como bons exemplos, os alunos que atingiram no mínimo nota final igual a sete (7,0) com ganho igual ou superior a 50% (regra do filtro cognitivo), totalizando 295 casos (62,50% do total de inscritos ou 77,43% dos casos válidos, conforme critérios já mencionados)¹⁴⁷.

Por meio da análise do gráfico apresentado pela Figura 152, observa-se que o ponto escolhido possui boa representatividade, o que leva a uma amostra de tamanho razoável para aplicação de testes estatísticos¹⁴⁸.

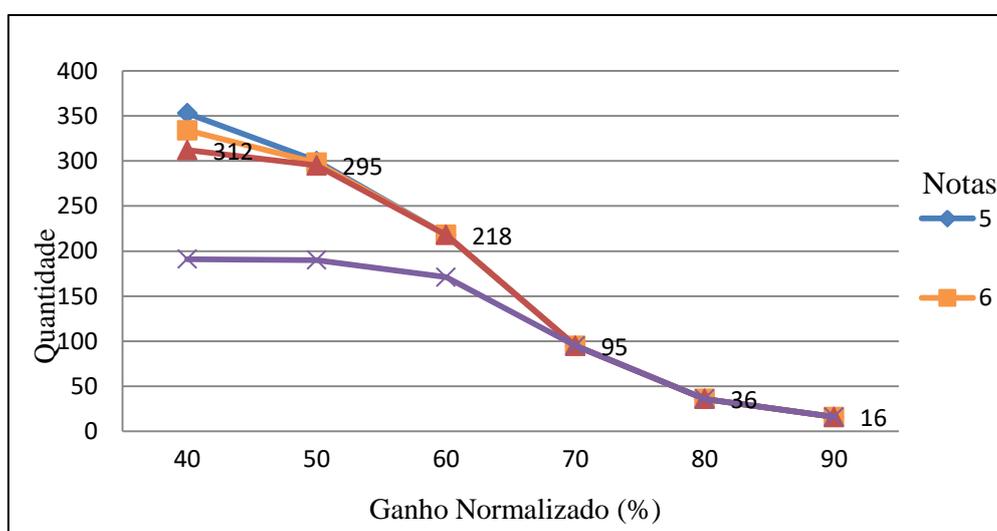


Figura 152: Análise: tamanho amostra x notas finais x ganho

Observando-se o perfil dos envolvidos no experimento, são identificados muitos estudantes de curso de graduação superior (cursos de administração e tecnologia da informação, em sua maioria) e profissionais de gestão interessados em aprimorar sua capacitação (informação obtida na através da inscrição virtual, visando entender o perfil do jogador aprendiz). Verifica-se maior frequência nas opções 3 e 4, representando “Ensino Superior Incompleto” e “Ensino Superior Completo”, respectivamente, conforme apresenta a Tabela 1, a seguir.

¹⁴⁷ Ao disponibilizar essas informações, pretende-se auxiliar pesquisadores interessados em replicar ou a planejar futuros experimentos dessa natureza.

¹⁴⁸ Embora a nota 6 possua melhor representatividade no conjunto de dados, optou-se pelo ponto de corte com o valor 7 devido ao fato do teste de conteúdo para a certificação profissional exigir 70% de acerto. Não havendo perda significativa da representatividade da amostra, decidiu-se pela opção que daria maiores chances de aprovação no teste de certificação profissional do conteúdo.

Tabela 1: Distribuição por grau de instrução.

Grau de Instrução		Válidos			Selecionados		
Id	Descrição	<i>ni</i>	<i>fi</i>	100 <i>fi</i>	<i>ni</i>	<i>fi</i>	100 <i>fi</i>
1	Ensino Médio Incompleto	1	0,00262	0,26%	1	0,00339	0,34%
2	Ensino Médio Completo	16	0,04199	4,20%	7	0,02373	2,37%
3	Ensino Superior Incompleto	148	0,38845	38,85%	117	0,39661	39,66%
4	Ensino Superior Completo	173	0,45407	45,41%	139	0,47119	47,12%
5	Especialização Completa	43	0,11286	11,29%	31	0,10508	10,51%
6	Mestrado Completo	-	-	-	-	-	-
7	Doutorado Completo	-	-	-	-	-	-
Total		381	1,00000	100%	295	1,00000	100%

A Figura 153, a seguir, ilustra a comparação entre dados válidos e selecionados em relação à distribuição por grau de instrução, apresentada pela tabela anterior.

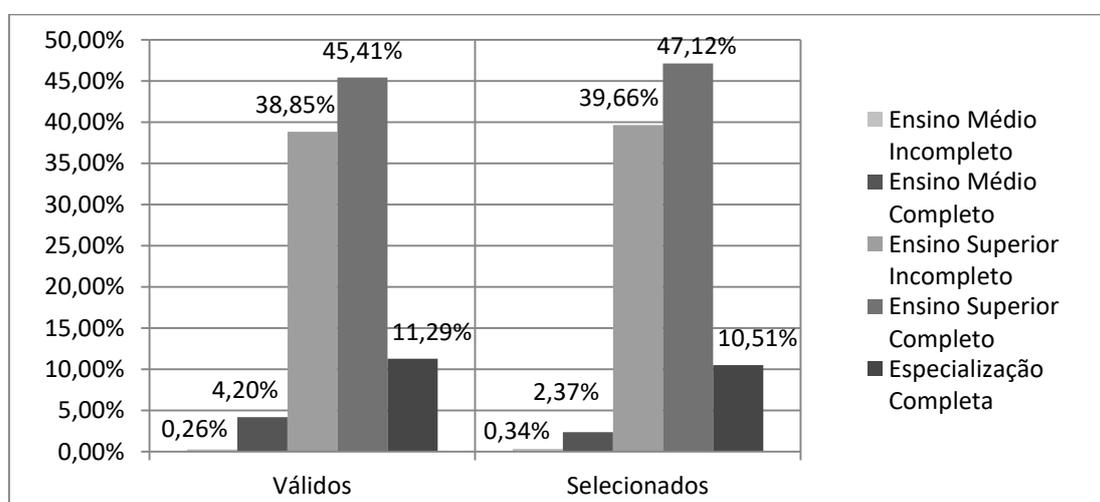


Figura 153: Representação gráfica da distribuição por grau de instrução.

Observa-se, também, certa coerência em relação ao perfil dos participantes quanto a faixa etária, em comparação ao levantamento executado na pesquisa preliminar (Capítulo 8, Seção 8.2), concentrando-se nas faixas 2 (de 15 a 25 anos) e 3 (de 26 a 35 anos), conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Distribuição por faixa etária.

Faixa Etária		Válidos			Selecionados		
Id	Descrição	<i>ni</i>	<i>fi</i>	100 <i>fi</i>	<i>ni</i>	<i>fi</i>	100 <i>fi</i>
1	Menos de 15 anos	0	0,00000	0,00%	0	0,00000	0,00%
2	15 a 25 anos	210	0,55118	55,12%	165	0,55932	55,93%
3	26 a 35 anos	125	0,32808	32,81%	100	0,33898	33,90%
4	36 a 45 anos	38	0,09974	9,97%	23	0,07797	7,80%
5	Mais de 45 anos	8	0,02100	2,10%	7	0,02373	2,37%
Total		381	1,00000	100%	295	1,00000	100%

A Figura 154 ilustra comparação entre as distribuições dos dados por faixa etária,

apresentadas pela Tabela 2.

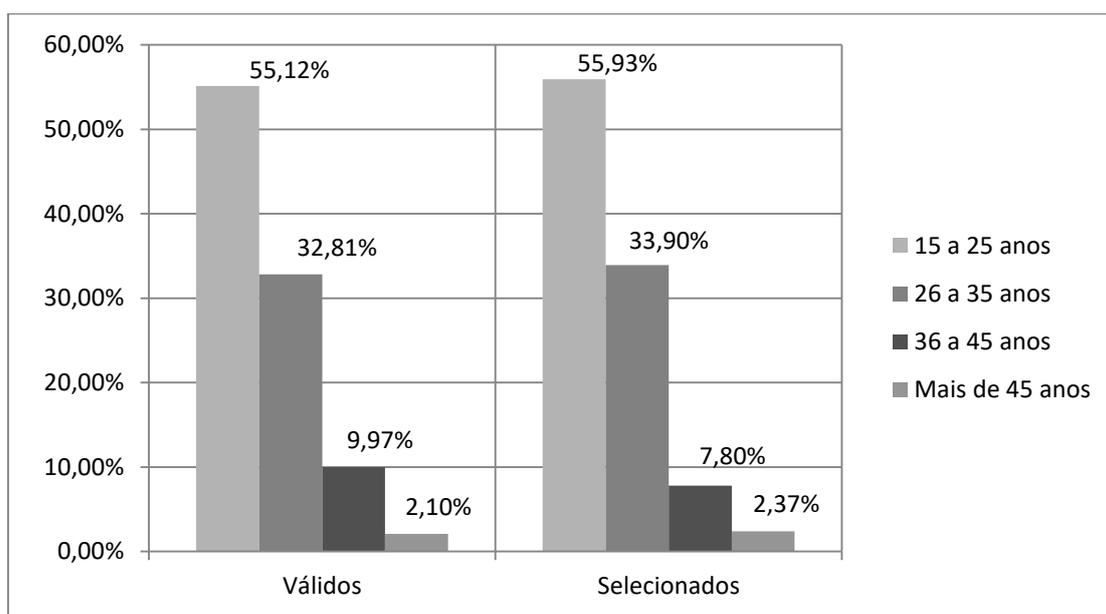


Figura 154: Representação gráfica da distribuição dos dados por faixa etária.

A mesma coerência pode ser observada em relação à proporção da participação de gêneros (pessoas de sexo masculino ou feminino), ilustrada pela Tabela 3.

Tabela 3: Distribuição por participação de gêneros – “sexo”.

Faixa Etária		Válidos			Selecionados		
Id	Descrição	n_i	f_i	$100 f_i$	n_i	f_i	$100 f_i$
F	Feminino	135	0,35433	35,43%	105	0,35593	35,59%
M	Masculino	246	0,64567	64,57%	190	0,64407	64,41%
Total		381	1,00000	100%	295	1,00000	100%

A Figura 155 ilustra a distribuição por participação de gêneros, exposta pela Tabela 3.

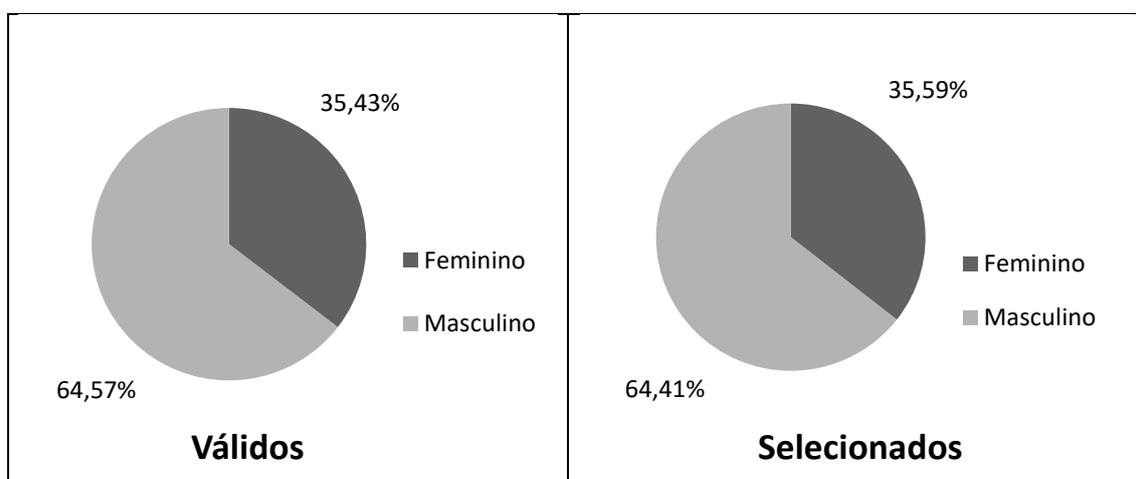


Figura 155: Representação gráfica da distribuição por sexo

Na análise dos 295 casos, levando-se em conta o perfil individual, são investigadas as relações das variáveis com os seguintes fenômenos:

- a. Visitação de níveis;
- b. Busca por formas de exposição de conteúdo;
- c. Papel nas atividades de grupo.

Essas observações são decisivas para o treinamento cooperativo das redes neurais do córtex artificial do sistema (detalhes apresentados na Seção 9.2.4). Por meio do estudo da influência das variáveis nas decisões do córtex é possível filtrar as variáveis a serem utilizadas e, consequentemente, determinar a arquitetura de cada rede neural.

Para identificar o padrão de visitação em níveis, procura-se relacionar o comportamento do indivíduo aos seus dados demográficos, dados de habilidade com a tecnologia em questão¹⁴⁹, e a nota inicial¹⁵⁰.

Para a análise, tratamento e preparação dos dados, com o intuito de identificar o comportamento comum entre as navegações e as características mencionadas, utiliza-se o programa de planilhas Microsoft Excel¹⁵¹, conforme ilustra a figura a seguir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U									
	Perfil					1					2					3					4					5				
Usuário	Sexo	Faixa Etária	Grão Instrução	H	Nota Inicial	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15										
4 ADALBERTO SA	M	4	4	4	4.1667	5.00	M	D	D	M	F	F	F	M	F	F	F	M	D	D										
5 ADELIOAMOURA	M	3	4	4	6.6667	5.50	M	F	F	M	D	D	D	D	D	D	M	D	D	D										
6 ADELVINE	F	2	3	3	8.3333	6.50	D	M	F	M	F	M	F	M	D	D	D	D	M	M										
7 ADELSONIC	M	2	3	3	5.8333	3.50	M	F	F	F	F	M	D	M	F	F	F	F	M	F										
8 ADRIANA PEREIRA	F	2	4	4	6.6667	5.00	D	D	M	D	M	M	D	M	F	M	M	M	M	D										
9 ADRIANA OL	F	2	3	3	4.1667	4.00	M	M	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	M										
10 ADRIANORO	M	3	5	5	5.8333	3.00	M	D	M	F	F	F	F	F	M	D	M	F	F	M										
11 AGMARA MOREIRA	F	4	5	5	5.8333	5.50	M	D	M	D	D	D	M	D	D	M	F	M	D	F										
12 ALCIDES	M	2	3	3	5.8333	5.50	M	F	F	F	M	D	M	D	M	D	D	D	M	D										
13 ALEX SANTIAGO	M	2	3	3	6.6667	5.00	M	D	M	D	D	M	M	M	M	F	M	M	M	D										
14 ALEX1878	M	4	4	4	5.8333	5.00	D	M	M	F	M	F	M	M	M	M	M	M	D	M										
15 ALEXANDRE FARBA	M	2	4	4	5.8333	4.00	M	D	M	D	M	F	F	F	F	F	M	F	D	F										
16 ALEXANDRE BA	M	2	3	3	5.8333	2.50	F	M	D	M	F	F	M	F	F	F	F	F	F	F										
17 AMANDA	F	2	4	4	7.5000	3.50	M	D	M	M	M	F	M	F	F	F	M	D	M	F										
18 ANA MARIA C	F	2	3	3	4.1667	3.50	M	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F										
19 ANDRE	M	2	4	4	7.5000	3.50	F	M	D	M	D	M	D	M	F	F	F	M	D	M										
20 ANDRELUIS	M	3	4	4	6.6667	3.50	M	D	D	M	F	M	F	M	F	M	F	M	M	D										
21 ANDREAZZ	F	2	3	3	8.3333	3.50	M	F	F	F	M	D	M	F	F	F	F	F	F	F										
22 ANGELA GABY	F	2	3	3	5.8333	3.50	M	M	M	F	F	M	F	F	F	M	F	F	F	F										
23 ANTONIO BELO	M	2	3	3	6.6667	5.00	D	M	D	M	D	M	D	M	F	M	M	M	M	M										
24 ANTONIO FILHO	M	2	3	3	6.6667	4.00	D	M	F	F	F	F	F	F	M	F	F	F	M	M										
25 ANTONIO JOAQUIM	M	2	3	3	9.1667	5.50	M	F	M	F	M	D	D	D	D	D	D	D	D	D										
26 ANTONIO MARCOS	M	2	4	4	7.5000	3.00	F	M	F	F	F	F	F	M	D	M	F	F	M	D										
27 ANTONIOGI	M	3	3	3	5.8333	3.00	M	F	F	F	F	M	D	M	F	M	D	M	F	F										
28 ARLUNDO RIBEIRO	M	2	4	4	5.8333	4.50	M	M	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F										
29 ARY	M	3	3	3	5.8333	5.00	F	F	F	F	M	D	M	D	M	F	F	F	M	D										
30 ATADES OLIVEIRA	M	3	4	4	5.8333	5.50	M	F	M	F	M	F	M	D	D	D	M	D	D	D										

Figura 156: Carregamento dos dados de navegação para tratamento.

O passo seguinte consiste em verificar se há incoerências na navegação (escolha ilógica dos níveis, conforme já citado anteriormente). Embora se tenham observado

¹⁴⁹ Tecnologia desenvolvida para dispositivos móveis, vigentes na época do experimento (celulares e tablets).
¹⁵⁰ Decisão fundamentada na observação do comportamento de jogadores (de diferentes faixas etárias e de gêneros) de jogos digitais.
¹⁵¹ Excel é uma marca registrada da Microsoft. Programa voltado para trabalho com planilhas eletrônicas.

algumas poucas ocorrências nos dados válidos, não se constata incoerência alguma nos dados selecionados. Esses dados de incoerência (3,14% da amostra válida, totalizando 12 casos), por não fazerem parte do foco do estudo, simplesmente são separados e desconsiderados¹⁵². A partir deste ponto, os procedimentos aplicam-se apenas aos dados selecionados (seguindo o critério nota final $\geq 7,0$ e ganho normalizado $\geq 50\%$, ou seja, 295 casos).

Efetua-se a conversão da variável nominal “sexo” (indicação de gênero biológico), que estavam como F (feminino) e M (masculino) para os valores numéricos 1 e 2, respectivamente. Um processo similar de conversão é feito com a navegação, convertendo o nível “D” (difícil) para 3, “M” (médio) para 2 e o nível “F” (fácil) para 1.

A influência das variáveis selecionadas para observação em relação à navegação de nível de dificuldade em cada atividade é verificada através do Teste Qui Quadrado¹⁵³, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4: Significância do Teste Qui Quadrado - Níveis de Dificuldade.

	Sexo		Faixa Etária		Grau de Instrução		Nota Inicial		Habilidade	
	p-valor	s	p-valor	s	p-valor	s	p-valor	s	p-valor	s
Ativ 1	0,16743	-	0,06011	-	0,00000	**	0,00000	**	0,00000	**
Ativ 2	0,37297	-	0,00173	**	0,00020	**	0,00486	**	0,00588	**
Ativ 3	0,05524	-	0,03203	*	0,02293	*	0,00511	**	0,15449	-
Ativ 4	0,65665	-	0,01113	*	0,01403	*	0,02770	*	0,30764	-
Ativ 5	0,08332	-	0,00045	**	0,24048	-	0,00412	**	0,02896	*
Ativ 6	0,99685	-	0,42790	-	0,10854	-	0,00507	**	0,06952	-
Ativ 7	0,45718	-	0,00011	**	0,00110	**	0,00003	**	0,00063	**
Ativ 8	0,38573	-	0,00000	**	0,00002	**	0,00000	**	0,00002	**
Ativ 9	0,68320	-	0,00000	**	0,00011	**	0,00001	**	0,00575	**
Ativ 10	0,95938	-	0,00000	**	0,00000	**	0,00000	**	0,00000	**
Ativ 11	0,39878	-	0,00000	**	0,00002	**	0,00000	**	0,00014	**
Ativ 12	0,22723	-	0,00000	**	0,00000	**	0,00000	**	0,00000	**
Ativ 13	0,96163	-	0,00000	**	0,00003	**	0,00000	**	0,00000	**
Ativ 14	0,42969	-	0,00000	**	0,00000	**	0,00000	**	0,00000	**
Ativ 15	0,84732	-	0,00000	**	0,00000	**	0,00000	**	0,00000	**
Ativ 16	0,70973	-	0,00001	**	0,00000	**	0,00002	**	0,00009	**
Ativ 17	0,86439	-	0,00000	**	0,01015	*	0,00000	**	0,00020	**
Ativ 18	0,22645	-	0,00003	**	0,00626	**	0,00804	**	0,01577	*

(-) não há associação; (*) para $0,01 < \text{significância} < 0,05$; (**) para significância $< 0,01$

¹⁵² Foram descobertos apenas pela curiosidade do pesquisador que, na estranheza de não haver encontrado casos de incoerências nas escolhas dos níveis observando a amostra selecionada, foi verificar os demais dados.

¹⁵³ Para essa análise foram utilizados os programas Microsoft Excel e o SPSS. O SPSS é um programa específico para aplicação científica. Originalmente o nome era o acrônimo de Statistical Package for The Social Sciences. Hoje é desenvolvido e mantido pela IBM.

Pode-se observar que não há evidências de associação entre as variáveis correspondentes ao sexo e aos níveis de dificuldade das atividades. Quanto às outras variáveis (faixa etária, grau de instrução, nota inicial e habilidade), todas elas mostram algum grau de associação. Portanto, a variável sexo é descartada e as variáveis que apresentaram associação são mantidas para os demais experimentos.

Como o córtex trabalha internamente com aprendizagem cooperativa, torna-se necessário verificar a relação das demais variáveis com seus respectivos, e até então supostos, comportamentos.

Portanto, avança para o próximo passo: averiguar a relação entre as variáveis de tendência de estilos de aprendizagem com a navegação focada nos diferentes formatos de conteúdo acessados pelo aprendiz jogador durante seu aprendizado no navegador de jogo livre. Isto é, passa-se a investigar se realmente o tipo de conteúdo acessado está associado às variáveis que representam as dimensões de estilos de aprendizagem propostas por Felder e apresentadas no Capítulo 2 (Seção 2.4).

Tabela 5: Significância do Teste Qui Quadrado - Tipo de Conteúdo.

	Act		Ref		Sens		Int		Vis		Vrb		Seq		Glo	
	p-valor	s														
C1	0,00045	**	0,00045	**	0,00020	**	0,00020	**	0,04516	*	0,04516	*	0,13249	-	0,13249	-
C2	0,00000	**	0,00000	**	0,00000	**	0,00000	**	0,01012	*	0,00729	**	0,06460	-	0,08502	-
C3	0,00000	**	0,00000	**	0,00002	**	0,00002	**	0,00001	**	0,00001	**	0,47466	-	0,42316	-
C4	0,00000	**	0,00000	**	0,00008	**	0,00009	**	0,00000	**	0,00000	**	0,00017	**	0,00018	**
C5	0,00000	**	0,00000	**	0,00001	**	0,00001	**	0,00002	**	0,00003	**	0,04367	*	0,05224	-
C6	0,00001	**	0,00001	**	0,00079	**	0,00067	**	0,00002	**	0,00002	**	0,03156	*	0,02797	*
C7	0,00000	**	0,00000	**	0,00001	**	0,00001	**	0,00000	**	0,00000	**	0,03278	*	0,03337	*
C8	0,00000	**	0,00000	**	0,00001	**	0,00000	**	0,00003	**	0,00001	**	0,00942	**	0,00951	**
C9	0,00001	**	0,00001	**	0,00123	**	0,00098	**	0,02016	*	0,02892	*	0,00329	**	0,00336	**
C10	0,00000	**	0,00000	**	0,00005	**	0,00005	**	0,00000	**	0,00000	**	0,00084	**	0,00053	**
C11	0,00000	**	0,00000	**	0,00006	**	0,00008	**	0,00589	**	0,00710	**	0,00990	**	0,00924	**
C12	0,00000	**	0,00000	**	0,00000	**	0,00000	**	0,00002	**	0,00001	**	0,00054	**	0,00049	**
C13	0,00000	**	0,00000	**	0,00130	**	0,00129	**	0,00001	**	0,00002	**	0,01577	*	0,02299	*
C14	0,00000	**	0,00000	**	0,00000	**	0,00000	**	0,00061	**	0,00070	**	0,00513	**	0,00434	**
C15	0,00000	**	0,00000	**	0,00062	**	0,00059	**	0,00012	**	0,00012	**	0,02070	*	0,01751	*
C16	0,00000	**	0,00000	**	0,00001	**	0,00001	**	0,00000	**	0,00000	**	0,00007	**	0,00005	**
C17	0,00001	**	0,00001	**	0,00064	**	0,00063	**	0,00073	**	0,00073	**	0,06940	-	0,06426	-
C18	0,00000	**	0,00000	**	0,00009	**	0,00008	**	0,00000	**	0,00000	**	0,01221	*	0,01239	*

(-) não há associação; (*) para 0,01 < significância < 0,05; (**) para significância < 0,01

É possível observar que houve influência das variáveis de dimensão dos estilos de aprendizagem na escolha pelo conteúdo acessado pelo aprendiz jogador e em todas as fases do jogo. Vale lembrar de que a análise deve ser realizada com a combinação das

dimensões, conforme apresenta o Capítulo 2.

O passo seguinte é observar os tipos de atividades acessadas sob a perspectiva do perfil individual relativo ao resultado do Teste de Belbin. Esse teste serve para indicar o tipo de atividade a ser desempenhada pelo jogador, segundo o seu papel. Salienta-se que cada atividade desempenhada permite ao jogador passar de fase (mudar para próximo contexto), seja individualmente ou em grupo. Como exposto anteriormente, após as duas atividades de aprendizado individual, a equipe executa uma série de atividades com um único objetivo, fazendo com que a equipe avance para a próxima fase. Todas as atividades são desenvolvidas segundo os tipos de aprendizagem interativa, apresentados brevemente no Capítulo 6. Teve-se o cuidado de não complicar demais as atividades para que não comprometesse o fluxo. Os tipos de atividades também foram desenvolvidos levando-se em consideração as principais características dos perfis apontados por Belbin (Apêndice 3).

Diferentemente das outras duas tabelas anteriores, a Tabela 6 é organizada para indicar a significância da escolha do tipo de atividade (estratégica, tática ou operacional) dentro das fases de trabalho cooperativo, conforme apresenta a Figura 157, não da atividade específica em si (em cada uma das fases).

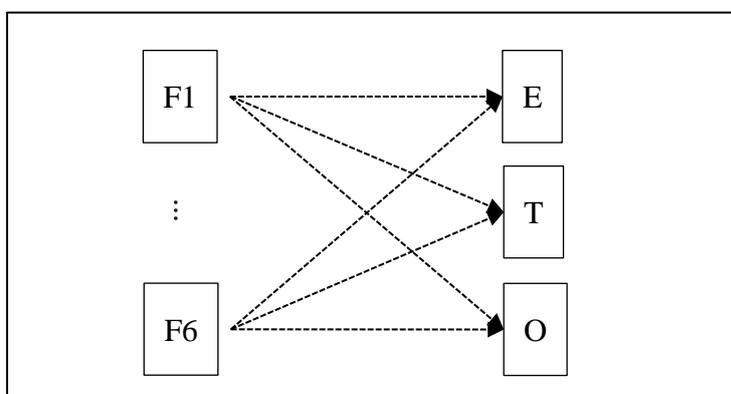


Figura 157: Possíveis tipos de atividades em cada fase.

Essa forma de classificação se dá pela generalização na execução de atividades, sem que haja sempre a repetição de tipos de atividade para cada perfil (dimensão dominante do papel do jogador). O padrão verificado nas atividades cooperativas é aplicado nas atividades individuais. Acredita-se que se houvesse tal repetição, o jogo logo ficaria repetitivo e, conseqüentemente, cansativo. Outra razão para isso é que as fases individuais, além de atividades de aprendizado, são preparatórias para as fases cooperativas (levando-se em conta que se prepara o indivíduo por meio do seu papel

dentro de uma equipe). A Tabela 6 mostra a significância das escolhas dada a classificação utilizada.

Tabela 6: Significância do Teste Qui Quadrado – Atividade em Equipe.

	PL		RI		CO		SH		ME		TW		IM		CF		SP	
	p-valor	s																
F1	0,0001	**	0,0384	*	0,0020	**	0,0004	**	0,0013	**	0,0001	**	0,0000	**	0,0000	**	0,6242	-
F2	0,0000	**	0,0090	**	0,0000	**	0,0031	**	0,0000	**	0,0031	**	0,0000	**	0,0001	**	0,4421	-
F3	0,0000	**	0,0000	**	0,0005	**	0,0140	*	0,0042	**	0,0008	**	0,0000	**	0,0002	**	0,8709	-
F4	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,1108	-
F5	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**
F6	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**	0,0000	**

(-) não há associação; (*) para $0,01 < \text{significância} < 0,05$; (**) para significância $< 0,01$

Observa-se que apenas os dados referentes aos especialistas (SP) não mostram uma associação direta com a escolha do tipo de atividade, nas fases de um a quatro (1 a 4). Porém apresentam significância nas fases cinco e seis (5 e 6). Para entender melhor esse comportamento seria necessária uma investigação mais aprofundada das outras características desses indivíduos que apresentam maior tendência à dimensão de especialistas. Especula-se, porém, que, apesar apresentarem essa característica, o fato de não terem conhecimento inicial sobre o conteúdo em questão pode ter afetado o comportamento na escolha das atividades. Como não é o foco do estudo, essa questão fica em aberto para investigações futuras.

Ainda sobre o assunto de associação ou correlação entre as variáveis observadas, anota-se que foi identificada relação entre as variáveis: Faixa Etária e Grau de Instrução. Em se tratando do conteúdo acredita-se que houve uma pouca representatividade da combinação de pessoas mais maduras com ensino médio, por exemplo, que geralmente é a realidade observada principalmente no nível operacional (“chão de fábrica”). Portanto, por uma questão empírica, as duas variáveis foram mantidas.

Essas informações foram úteis para reforçar o argumento de que os valores utilizados como entradas das redes do córtex artificial influenciam na escolha tanto do nível de dificuldade, quanto do tipo de conteúdo. Também na definição da atividade segundo o papel do indivíduo em atividades de equipe.

9.2.4 TREINAMENTO DAS REDES NEURAIAS

Conforme explicado anteriormente, o sistema do córtex artificial de ensino-aprendizagem conta com três redes neurais para aprender, de forma cooperativa, a

melhor seleção de estratégias, com o intuito de auxiliar o aprendiz-jogador a desenvolver seu conhecimento. Cada uma das redes do córtex possui uma função específica e trabalham com base nos melhores resultados de “exploração”, segundo os critérios já observados.

Uma das redes neurais do córtex tem como função indicar os níveis de dificuldade das atividades (navegador de níveis), baseando-se no perfil individual do jogador, cujo desempenho faz com que o jogo varie o nível de dificuldade “automaticamente”. Outra rede tem como função indicar o formato do conteúdo a ser apresentado (navegador de conteúdo). Essa rede leva em conta as dimensões de preferência do jogador no que se refere aos estilos de aprendizagem. E, por fim, uma rede é responsável por indicar o papel a ser desempenhado pelo jogador na atividade em equipe, baseando-se principalmente no perfil de equipe do jogador.

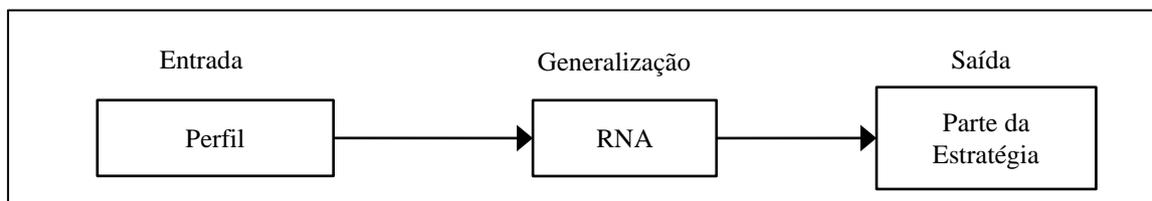


Figura 158 – Forma geral das redes neurais utilizadas

O treinamento das redes foi uma das etapas mais críticas do desenvolvimento do córtex. Começou com a avaliação dos dados 295 casos selecionados após a etapa de coleta de dados e culminou com o desenvolvimento do córtex artificial, ferramenta responsável pelo comportamento inteligente do tutor. A partir desse ponto, foram definidas as estruturas das redes neurais utilizadas no experimento.

Observa-se, pela forma geral exposta na Figura 158, que as redes geram valores que correspondem à indicação de cada uma das partes da estratégia utilizada para a solução do problema proposto, porém, levando-se em conta uma mesma combinação de comportamentos para o treinamento de todas as redes (cada qual com seu conjunto de dados). Para o treinamento das redes foi utilizado como ferramenta de apoio o MATLAB^{®154}, cujas ferramentas de redes neurais (*toolbox* como é geralmente referenciada) atendem plenamente às necessidades da pesquisa.

¹⁵⁴ MATLAB[®] (abreviatura de *MATrix LABORatory* – Laboratório de Matrizes) é um programa de computador de uso específico, otimizado para executar cálculos científicos e de engenharia, descreve Chapman, em seu livro: Programação em MATLAB para Engenheiros (CHAPMAN, 2010).

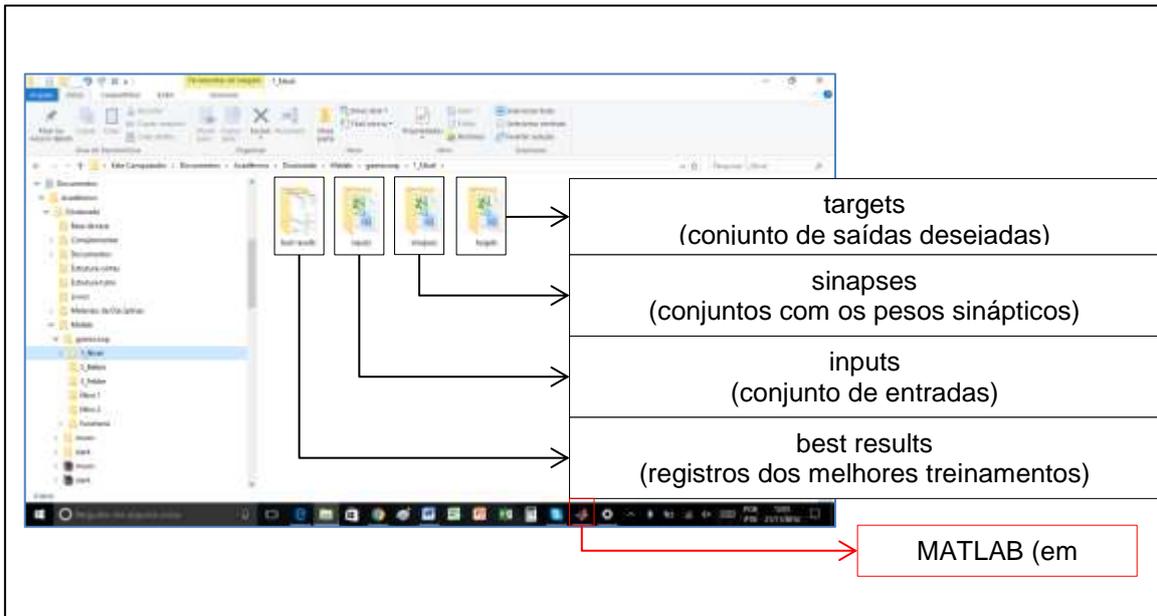


Figura 159: Organização das pastas para armazenar dados de treinamento.

Com o intuito manter a organização, para todos os treinamentos, os arquivos relativos aos treinamentos (arquivos de dados, gráficos de desempenho, relatórios e os pesos resultantes) são separados em pastas (diretórios) distintas (denominadas respectivamente de Nível, Felder, Belbin), conforme ilustra a Figura 159. Os dados utilizados diretamente no treinamento, tanto as entradas das redes (*inputs*), bem como as saídas (*targets*) são dispostos em planilhas distintas, cada uma com suas respectivas denominações e armazenadas em suas respectivas pastas (diretórios). Também são armazenados os valores das sinapses, obtidos em cada um dos treinamentos, bem como o registro do gráfico de treinamento juntamente com os dados da estrutura da rede utilizada (para a finalidade de comparação entre os treinamentos de cada rede).

Adota-se, como critério de escolha da estrutura de cada uma das redes neurais artificiais do córtex, o melhor equilíbrio nas taxas de erro de treinamento e validação, conforme pode ser atestado nos gráficos de treinamento expostos adiante. Vale ressaltar que tal critério é assegurado com taxas de erro relativamente baixas, mas sem perder sua capacidade generalização.

Aliado ao critério anterior, leva-se em consideração o menor custo de implementação (menor topologia), para que não haja demora na resposta da rede (o que poderia afetar a dinâmica do jogo), lembrando que a navegação depende da resposta das três redes.

No primeiro ciclo de aprendizagem, a avaliação do treinamento das redes é

realizada através da técnica de validação cruzada com a divisão dos conjuntos seguindo a seguinte proporção:

- a. Treinamento: 60% ($n = 177$).
- b. Validação: 29,83% ($n = 88$).
- c. Teste: 10,17% ($n = 30$).

A primeira série de treinamentos descrita é a da rede do navegador de níveis. Os dados ordinais (faixa etária e grau de instrução) são mantidos na ordem de 1 a 5 e os dados das notas foram normalizados. A estrutura da rede do navegador de níveis possui em sua estrutura de entrada com 1 neurônio representando o índice de habilidade, 2 neurônios indicando as características demográficas (faixa etária e grau de instrução, 1 resultado do pré-teste. A rede conta com 3 neurônios de saída, cada um representando os níveis de dificuldade do jogo em relação ao conteúdo (fácil, médio e difícil). Os valores de saída são as probabilidades de indicação de cada nível de dificuldade dado o perfil do indivíduo. A ideia é variar o nível de dificuldade das atividades do jogo segundo o perfil do jogador, levando-se em conta o seu desempenho inicial, suas características pessoais e habilidade. Para essa rede são realizados aproximadamente 200 treinamentos (devido à facilidade de uso da ferramenta supracitada), variando entre 2 a 21 neurônios na camada intermediária, comparando-se os resultados. O algoritmo de treinamento utilizado foi o *backpropagation* resiliente gradiente descendente com *momentum*¹⁵⁵ (para todos os demais também foi utilizado o mesmo algoritmo).

A partir dos treinamentos realizados, foi escolhida uma rede com 7 neurônios na camada intermediária, conforme ilustra a Figura 160.

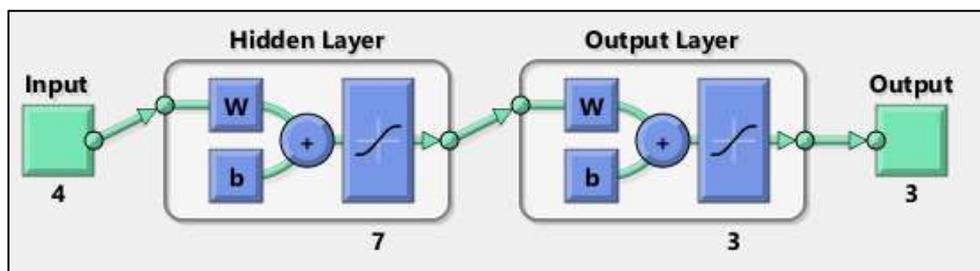


Figura 160: Representação gráfica da rede de navegação em níveis

¹⁵⁵ Foram investigados outros tipos de algoritmos de treinamento, porém, o algoritmo no corpo do trabalho mostrou melhor desempenho em testes preliminares.

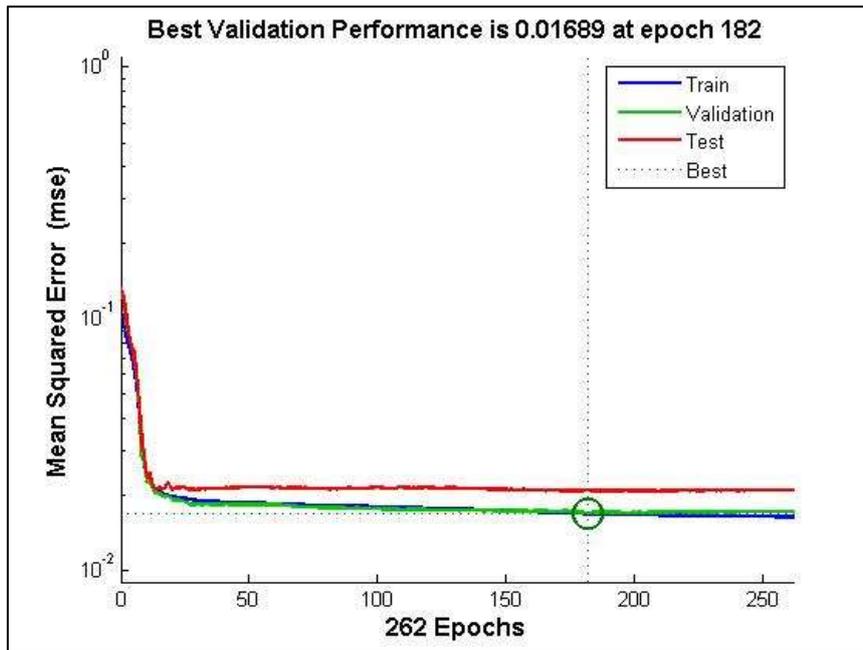


Figura 161: Gráfico de treinamento da rede neural do navegador de níveis.

As classificações erradas foram de aproximadamente: 1,7% no treino, validação 1,7% e teste de 1,9%.

É importante frisar que, embora haja a preocupação em proceder à verificação individual de erros das redes neurais, sua sensibilidade ou especificidade, o que conta para o caso do córtex é o resultado final da composição de estratégias (por essa razão é que as redes do córtex devem aprender cooperativamente).

A estrutura da rede foi replicada no navegador inteligente do jogo, utilizando-se dos valores dos pesos adquiridos com o treinamento (primeiro ciclo de aprendizagem).

Para treinamento da rede de navegação em tipos de conteúdos, leva-se em consideração o perfil de estilos e aprendizagem levantado através do questionário de Felder, apresentado no momento da inscrição. O questionário apresenta os resultados numéricos mostrando o quanto o indivíduo possui tendência a um estilo, conforme apresentado na Seção 2.4.2 no Capítulo 2 do presente trabalho.

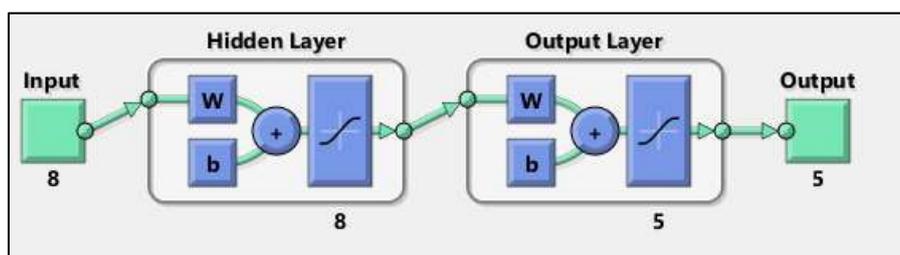


Figura 162: Estrutura da rede de navegação em tipos de conteúdo

A Figura 162 ilustra a estrutura de rede neural que apresentou melhor desempenho dentre os treinamentos realizados e observados.

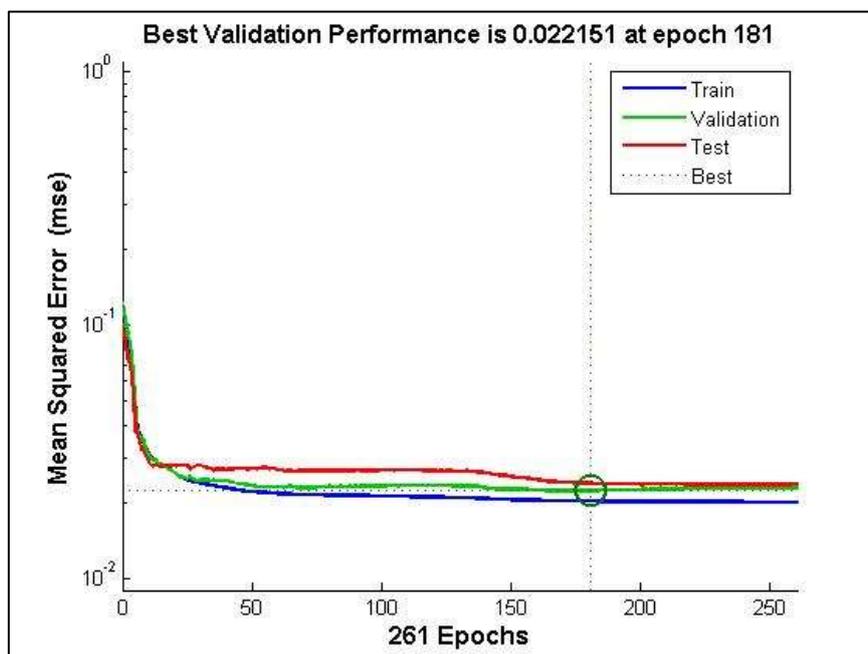


Figura 163: Gráfico de treinamento da rede neural do navegador de conteúdo

A Figura 163 apresenta o gráfico de treinamento da rede do navegador de conteúdo. Da mesma forma os pesos obtidos no treinamento foram recuperados, e armazenados para posterior utilização no navegador de conteúdo. As regras descritas no Quadro 3, para indicação de nível de conteúdo local também são utilizadas para auxiliar na navegação de conteúdo, porém de forma diferente (conforme explicado no Capítulo 7).

O navegador de atividades em equipe é o mais simples, porém não menos importante para o projeto, foi treinado com os valores resultantes do Teste de Belbin como entrada. Como saída, as probabilidades de encaixar o papel do indivíduo dentro de três características (estratégia, tática ou operacional), relativo à execução da atividade do grupo no jogo (conforme explicado também no Capítulo 8).

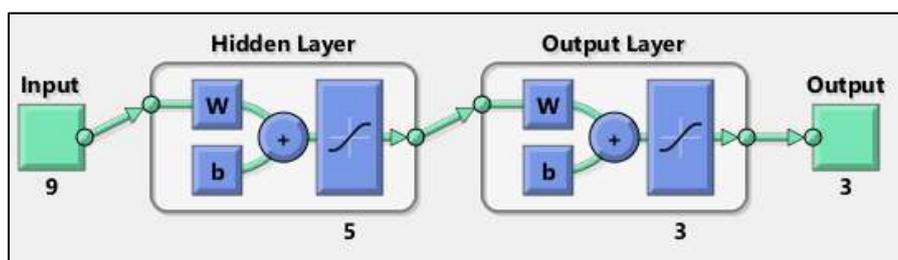


Figura 164: Representação gráfica da estrutura da rede neural do navegador de papéis

A estrutura da rede que obteve resultado no treinamento contou com cinco neurônios na camada intermediária, conforme ilustra a Figura 164. Dentre os 150 treinamentos completamente realizados, o que obteve maior sucesso foi o ilustrado na figura abaixo.

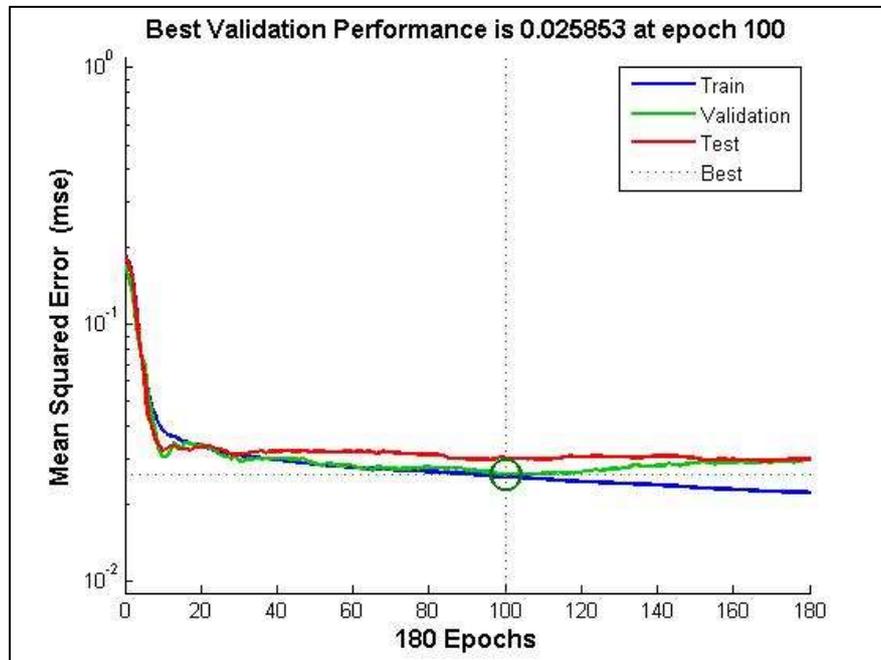


Figura 165: Gráfico de treinamento do navegador de atividades

9.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste ponto do trabalho, apresenta-se a comparação entre os três tipos de ensino (tradicional, através de um sistema tutor baseado em um jogo exploratório livre e através de um sistema tutor baseado em jogo inteligente – os dois últimos contando com aprendizagem cooperativa) e, embora haja várias informações a serem analisadas, são abordados somente alguns aspectos, deixando os outros para futuras investigações.

9.3.1 ANÁLISE DESCRITIVA

Nesta seção, são apresentados os resultados baseados em análises usando Estatística Descritiva¹⁵⁶. Dentre os pontos analisados, destacam-se as medidas de variabilidade e tendência central das amostras.

¹⁵⁶ Possibilita descrever o conjunto de dados representado pela amostra, isto é, procura descrever a amostra pondo em evidência as características principais e as propriedades.

Tabela 7: Estatísticas Básicas.

<i>Var</i>	<i>Nota Inicial</i>			<i>Nota Final</i>			<i>Ganho Normalizado</i>		
	<i>Trad</i>	<i>Livre</i>	<i>Intel</i>	<i>Trad</i>	<i>Livre</i>	<i>Intel</i>	<i>Trad</i>	<i>Livre</i>	<i>Intel</i>
<i>Média</i>	4,02	4,08	3,64	6,49	7,51	8,06	37,87	58,30	69,32
<i>E padrão</i>	0,182	0,057	0,104	0,184	0,052	0,087	3,459	0,826	1,305
<i>Mediana</i>	4,00	4,00	3,50	6,50	7,50	8,00	35,90	60,00	69,23
<i>Moda</i>	2,50	3,50	3,50	8,00	8,00	8,00	25,00	50,00	69,23
<i>D padrão</i>	1,665	1,188	0,984	1,688	1,093	0,823	31,699	17,288	12,382
<i>Variância</i>	2,771	1,411	0,968	2,849	1,195	0,677	1004,830	298,862	153,325
<i>Curtose</i>	-0,580	0,104	0,475	0,098	0,333	2,314	-0,145	6,766	1,682
<i>Assimetria</i>	0,299	-0,167	0,065	-0,362	-0,462	-0,940	-0,349	-1,283	-0,846
<i>Intervalo</i>	7,00	7,00	5,50	8,50	6,00	5,00	150,00	160,00	72,73
<i>Mínimo</i>	0,50	0,50	0,50	1,50	4,00	5,00	-50,00	-60,00	27,27
<i>Máximo</i>	7,50	7,50	6,00	10,00	10,00	10,00	100,00	100,00	100,00
<i>Soma</i>	337,60	1785,50	328	545,20	3291	725	3181,19	25535,99	6238,71
<i>Nº casos</i>	84	438	90	84	438	90	84	438	90
<i>CV (%)</i>	41,42	29,14	26,99	26,01	14,55	10,21	83,70	29,65	17,86

A Tabela 7 mostra a análise das amostras, comparando nota inicial, nota final e ganho normalizado (dados coletados através do modo tradicional de ensino – exposição e avaliação – e dos sistemas tutores baseados em jogos com navegação livre e inteligente). As análises podem ser realizadas mediante a utilização das seguintes métricas: média, erro padrão (variabilidade das médias, caso seja escolhida outra amostra ao acaso, o erro padrão avalia a precisão do cálculo da média populacional), mediana (valor central que separa um conjunto em duas partes iguais), moda (valor mais frequente), desvio padrão (medida do grau de dispersão dos valores em relação ao valor médio), curtose (indica a intensidade das frequências nas vizinhanças dos valores centrais), assimetria (grau de assimetria de uma distribuição em torno de sua média), amplitude total, mínimo (valor mínimo encontrado) e máximo (valor máximo encontrado).

Observando-se o conjunto de medidas das notas iniciais, pode-se afirmar que a média das notas iniciais do grupo de indivíduos submetidos ao jogo com navegação inteligente ficou em torno de 3,64. Isso indica que os indivíduos dessa amostra possuem conhecimento abaixo do conhecimento regular sobre o assunto abordado. Ficaram, portanto, abaixo da média usual (5,0) e bastante aquém da média necessária para aprovação (7,0). Tais médias foram mais baixas do que as médias das notas iniciais das demais amostras, mostrando que houve realmente a necessidade, por parte dos elementos desse grupo, de melhorar o conhecimento a respeito do conteúdo proposto.

A média das notas finais da amostra referente aos indivíduos que utilizaram o jogo com navegação inteligente (8,06) indicou ter ocorrido melhoria se comparado à média (3,64) das notas iniciais do mesmo grupo. Observa-se também que a maior média foi obtida pelos indivíduos que utilizaram o jogo com navegação inteligente, seguida da aprendizagem através do jogo livre (7,51) e, por sua vez, seguida da média do grupo que recebeu o treinamento tradicional (6,49). Tais valores de médias sugerem maior ganho de conhecimento dos aprendizes que fizeram uso do jogo com navegação inteligente, alvo de nossa hipótese principal.

A média do ganho normalizado constitui-se em outro foco importante de observação. Nesse contexto, a amostra cujos indivíduos fizeram uso do sistema proposto alcançou a média de 69,32% de melhoria (a mais alta das três amostras), seguida da média de ganho da amostra dos indivíduos que utilizaram o jogo com navegação livre (58,30%), depois pela amostra que representa os indivíduos que receberam o treinamento tradicional (37,87%).

O desvio padrão, medida de variabilidade, mostra a estabilidade ou homogeneidade dos elementos do conjunto. Observa-se equilíbrio entre as coletas quanto à nota inicial, sendo a amostra referente aos indivíduos que acessaram o jogo inteligente (desvio padrão de 0,984) a mais homogênea (estável) e a amostra correspondente ao ensino tradicional (desvio padrão de 1,665) a mais heterogênea (instável) das três.

Pela análise do desvio padrão apresentado na observação da nota final, a amostra correspondente aos indivíduos que usaram o jogo inteligente manteve-se como a mais homogênea (desvio padrão=0,823), mais estável das três, seguida pela amostra dos que utilizaram o jogo livre (desvio padrão de 1,093). A amostra referente aos indivíduos que tiveram o treinamento tradicional apresenta-se como a menos homogênea (desvio padrão de 1,688).

Quanto à melhoria (ganho normalizado), o desvio padrão observado indica a amostra cujos indivíduos tiveram o aprendizado através do jogo inteligente como a amostra mais homogênea (desvio padrão = 12,382), seguida pela amostragem do jogo livre (desvio padrão = 17,288). A amostra do ensino tradicional (desvio padrão = 31,699) mostra-se como a mais heterogênea nesse aspecto.

Conforme mencionado anteriormente, uma pesquisa de opinião foi apresentada aos aprendizes ao final de cada curso com o objetivo de verificar algumas sensações relativas à realização do experimento. Tal pesquisa é feita na forma de questionário de satisfação, levando-se em conta o método de ensino empregado.

A Figura 166 ilustra o comparativo da avaliação do método de ensino, inclusive levando-se em conta o instrumento experimental como um todo.

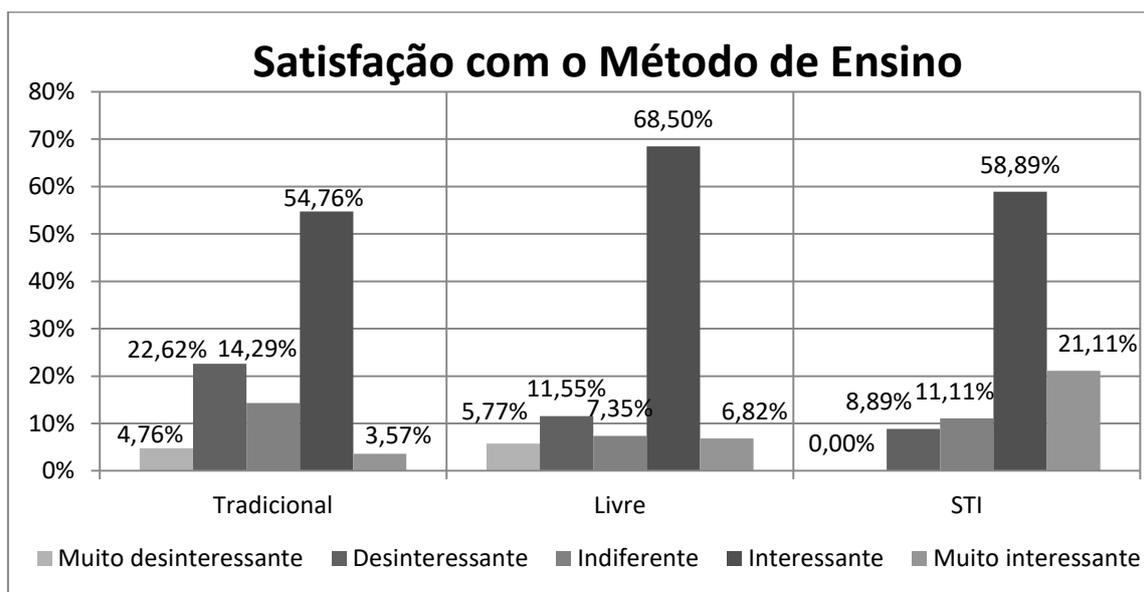


Figura 166: Comparação da avaliação dos métodos de ensino

Analisando-se o gráfico anterior observa-se um nível maior de desinteresse no formato de ensino tradicional, enquanto que o uso de sistemas tutores apresentaram melhores resultados em relação à satisfação com o método de ensino utilizado. Pode-se inferir que o sistema tutor utilizando o córtex artificial (STI - Sistema Tutor Inteligente) obteve o melhor resultado. Basta observar a porcentagem de indivíduos da amostra que consideraram “interessante” e “muito interessante” e, também, comparando-se a porcentagem de indivíduos que consideraram o referido método “muito desinteressante” com os valores obtidos pelos demais métodos.

A Figura 167 mostra o comparativo entre o nível de conforto na realização dos treinamentos, indicando a percepção por parte dos aprendizes.

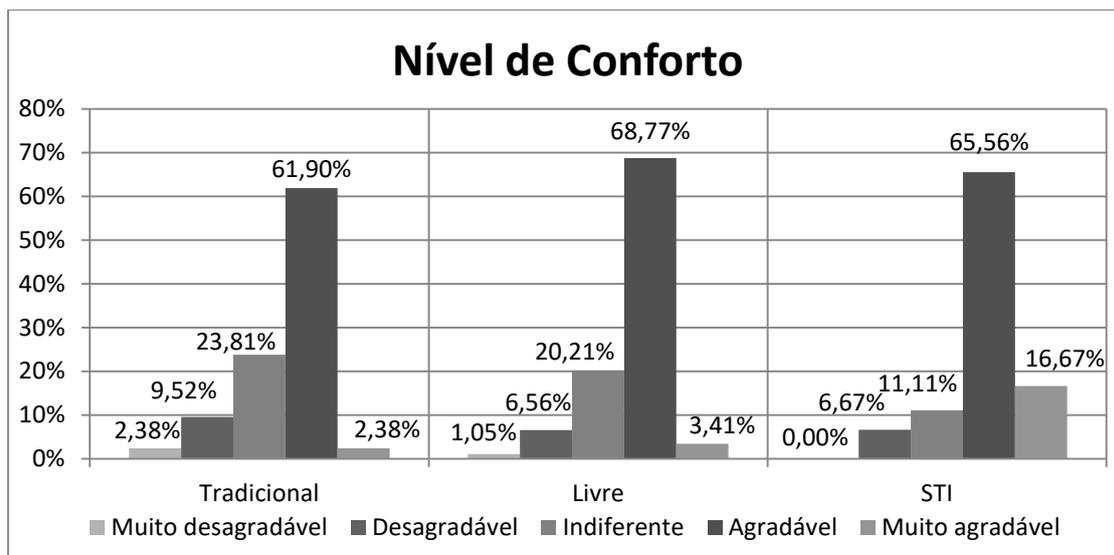


Figura 167: Percepção durante os experimentos

Observando-se o gráfico da Figura 165, pode-se inferir que, em relação ao nível de conforto, tanto o ensino tradicional quanto o jogo livre, tiveram avaliação equivalente. O STI apresenta melhor nível de conforto geral por meio da observação dos registros que o apontam como “agradável” e “muito agradável”.

A Figura 168 apresenta a comparação do nível de fadiga dos aprendizes ao término dos respectivos experimentos.

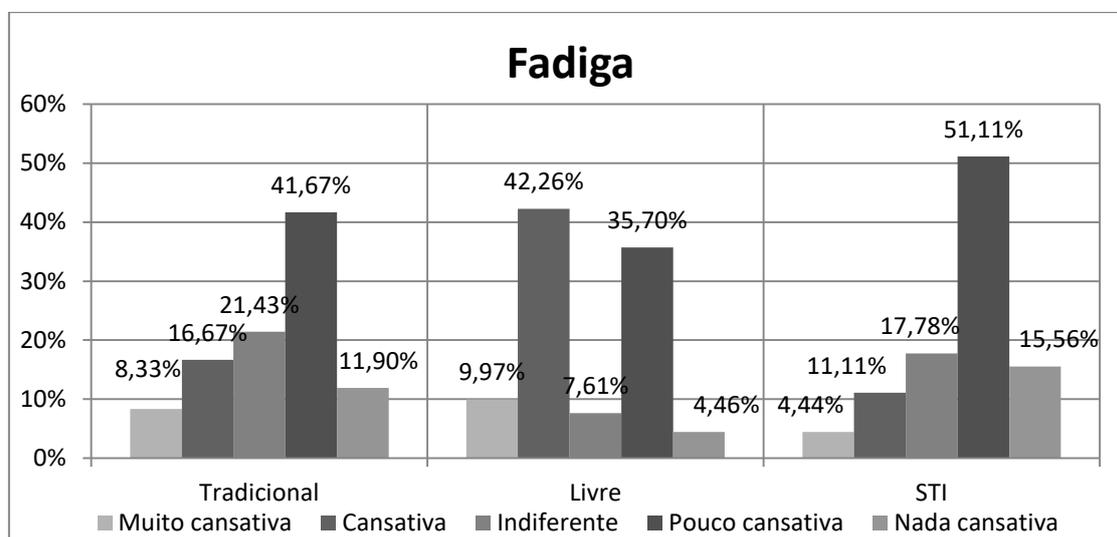


Figura 168: Comparação do nível de fadiga

Observa-se de forma geral que o grupo que acessou o jogo de navegação livre apresentou maior fadiga. É razoável crer que isso se deve ao maior esforço do aprendiz na obtenção do conhecimento necessário (buscas exploratórias) e pelo desenvolvimento de atividades de tentativa e erro. Isso faz com que leve mais tempo para ocorrer o

aprendizado. Pode-se observar, também, que o STI obteve um resultado melhor, ou seja, apresentou um menor número de casos de fadiga. Bastando comparar, nesse caso, as estatísticas apontando a atividade como “Muito cansativa” e “cansativa”.

9.3.2 ANÁLISE INFERENCIAL

Na seção anterior, são observadas diferenças importantes entre os experimentos. Os valores apresentados descrevem as amostras, mas não garantem que tais diferenças sejam realmente significativas em termos populacionais. Com o intuito de mostrar a significância de tais diferenças apresentadas, utiliza-se nesta seção outra importante área da estatística, a Estatística Inferencial¹⁵⁷. Com o uso da Estatística Inferencial, pode-se afirmar com objetividade (risco de erro controlado) se o sistema proposto deve ser entendido como responsável pelas diferenças observadas nos resultados da análise (significância explícita).

Para realizar as análises, utiliza-se o Teste t-Student¹⁵⁸ com nível de significância de 5%, considerando médias. A escolha de 5% para o nível de significância é o valor típico aceito pela comunidade científica. A seguir, são analisadas as notas iniciais, as notas finais e os ganhos normalizados (melhoria ou retenção do conhecimento).

▪ ANÁLISE DAS NOTAS INICIAIS

A comparação entre notas iniciais das amostras tem como objetivo testar se os conjuntos de dados podem ser considerados como provenientes de uma mesma população. Em outras palavras, se as diferenças amostrais podem ser atribuídas ao acaso. Para a realização do teste, a hipótese nula supõe a igualdade das médias, ou seja, as amostras podem ter sido originadas da mesma população, sendo as diferenças amostrais puramente casuais. Quando ocorre a rejeição da hipótese nula, a ideia que as amostras são representantes de populações distintas é fortalecida. Por conseguinte, a não rejeição da hipótese nula indica que as amostras podem ter sido extraídas da mesma população.

O teste comparativo das amostras da coleta com método tradicional e da coleta

¹⁵⁷ Apresenta um conjunto de técnicas que permite verificar a generalização, ou seja, a transferência das conclusões para toda população.

¹⁵⁸ A Distribuição t de Student foi criada no início do séc. XX por um pesquisador de nome William Sealy Gosset (1876 – 1936).

com o uso do jogo com navegação livre apresentou uma estatística t (valor observado) igual a -0,37 que está fora da região crítica (t crítico = 1,65). A hipótese nula não foi rejeitada, indicando que não há diferenças amostrais significativas. Entende-se que a amostra que utilizou o tutor com navegação livre partiu de uma mesma situação de conhecimento inicial da amostra do treinamento tradicional. O teste t-Student relativo a tal comparação é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8: Comparação das notas iniciais – Tradicional x Jogo Livre.

	<i>Tradicional</i>	<i>Jogo Livre</i>
Média	4,0764	4,0764
Variância	2,7714	1,4112
Observações	84	438
Variância agrupada	1,6283	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	520	
Stat t	-0,3779	
P(T<=t) uni-caudal	0,3528	
t crítico uni-caudal	1,6478	
P(T<=t) bi-caudal	0,7057	
t crítico bi-caudal	1,9645	

A comparação das amostras coletadas por meio do ensino tradicional com o tutor inteligente baseado em jogos apresentou um valor de t observado igual a 1,82, que está dentro da região crítica (t crítico = 1,65). Desta forma, a hipótese nula foi rejeitada e as amostras não devem ser entendidas como pertencentes à mesma população, ou seja, a amostra que utilizou o sistema tutor inteligente baseado em jogos digitais partiu de um conhecimento significativamente inferior. A estatística t é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9: Comparação das notas iniciais – Tradicional x Jogo STI.

	<i>Tradicional</i>	<i>Jogo Intel.</i>
Média	4,0764	3,6444
Variância	2,771	0,968
Observações	84	90
Variância agrupada	1,8380	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	172	
Stat t	1,8212	
P(T<=t) uni-caudal	0,0351	
t crítico uni-caudal	1,6537	
P(T<=t) bi-caudal	0,0703	
t crítico bi-caudal	1,9738	

Verificou-se que a comparação das amostras coletadas através do jogo livre com o jogo de navegação inteligente apresenta um valor observado igual a 3,2 que está dentro

da região crítica (t crítico = 1,65). A hipótese nula foi rejeitada, indicando que o conhecimento inicial da amostra que utilizou o jogo inteligente é significativamente inferior. O teste t-Student é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10: Comparação das notas iniciais – Jogo livre x Jogo STI

	<i>Jogo Livre</i>	<i>Jogo Intel.</i>
Média	4,0764	3,6444
Variância	1,4111	0,9676
Observações	438	90
Variância agrupada	1,3361	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	526	
Stat t	3,2295	
P(T<=t) uni-caudal	0,0006	
t crítico uni-caudal	1,6477	
P(T<=t) bi-caudal	0,0013	
t crítico bi-caudal	1,9644	

De todas as análises anteriores, pode-se concluir que a amostra que utilizou o sistema proposto partiu de um conhecimento significativamente inferior às demais amostras analisadas (ensino tradicional e jogo livre).

▪ NOTA FINAL

A hipótese nula, no contexto do teste comparativo entre amostras do ensino tradicional e do jogo livre, indica que as médias das notas finais são equivalentes. Entretanto, verifica-se que a estatística t (valor observado) é igual a -7,11, dentro da região crítica (t crítico = 1,65), indicando que a média do jogo livre é significativamente maior em termos populacionais. Portanto a hipótese nula foi rejeitada. A Tabela 11 apresenta os valores do teste t-Student.

Tabela 11: Comparação das notas iniciais – Tradicional x Jogo livre.

	<i>Tradicional</i>	<i>Jogo Livre</i>
Média	6,4905	7,5137
Variância	2,8493	1,1954
Observações	84	438
Variância agrupada	1,4594	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	520	
Stat t	-7,1107	
P(T<=t) uni-caudal	1,91739E-12	
t crítico uni-caudal	1,6477	
P(T<=t) bi-caudal	3,83478E-12	
t crítico bi-caudal	1,9645	

A hipótese alternativa do teste seguinte supõe a diferença das médias das amostras

coletadas através do modo tradicional e do jogo inteligente. Portanto, hipótese diretamente testada no teste comparativo entre dados das amostras supõe que não há diferença entre tais médias. O valor observado é igual a -7,85 e está dentro da região crítica (t crítico = 1,65). A hipótese nula é rejeitada, indicando que o resultado da coleta com tutor de navegação inteligente é significativamente melhor do que a amostra obtida através do método de ensino tradicional. O teste t-Student da é apresentado na Tabela 12, a seguir.

Tabela 12: Comparação das notas finais - Tradicional x Jogo STI

	<i>Tradicional</i>	<i>Jogo Intel.</i>
Média	6,4904	8,0556
Variância	2,8493	0,6766
Observações	84	90
Variância agrupada	1,7251	
Hipótese da diferença de média	0	
GI	172	
Stat t	-7,8544	
P(T<=t) uni-caudal	2,07579E-13	
t crítico uni-caudal	1,6537	
P(T<=t) bi-caudal	4,15157E-13	
t crítico bi-caudal	1,9739	

Na comparação entre as médias das notas finais da amostra coletada através do jogo livre com o jogo inteligente, a hipótese alternativa supõe que a média da inteligente com aprendizagem cooperativa é maior do que a inteligente (t crítico uni-caudal). Observa-se a estatística $t = -4,44$ que está na região crítica (t crítico = 1,65). A hipótese nula foi rejeitada, indicando que a média da nota final do sistema proposto é significativamente maior do que resultado obtido através do jogo livre. O teste é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13: Comparação das notas finais - Jogo livre x Jogo STI

	<i>Jogo Livre</i>	<i>Jogo Intel</i>
Média	7,5137	8,0556
Variância	1,1954	0,6766
Observações	438	90
Variância agrupada	1,1076	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	526	
Stat t	-4,4485	
P(T<=t) uni-caudal	5,27812E-06	
t crítico uni-caudal	1,64776	
P(T<=t) bi-caudal	1,05562E-05	
t crítico bi-caudal	1,9645	

A análise geral mostra que o sistema proposto apresentou bons resultados e uma média final numericamente maior em relação ao jogo livre e, também, em relação ao ensino tradicional. O resultado positivo obtido pelo sistema proposto dá credibilidade à nossa hipótese principal (apresentada no Capítulo 1).

▪ GANHO NORMALIZADO

Conforme descrito anteriormente no Capítulo 1 (Seção 2.6), o ganho normalizado foi utilizado no presente trabalho para medir o grau de retenção de conhecimento (ou melhoria) do jogador-aprendiz em relação ao conteúdo. Ao comparar o ganho normalizado do ensino tradicional com o sistema de navegação livre, observa-se uma estatística t (valor observado) igual a -8,45, situada no dentro da região crítica (t crítico uni-caudal = 1,65). Portanto, a hipótese nula, que presume igualdade entre as médias, foi rejeitada e, mesmo o sistema livre apresenta significativa melhoria no aprendizado em relação ao ensino tradicional. Os dados dessa comparação são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Comparação do ganho normalizado - Tradicional x Jogo livre

	<i>Tradicional</i>	<i>Jogo Livre</i>
Média	37,8713	58,3014
Variância	1004,8303	298,8623
Observações	84	438
Variância agrupada	411,5457	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	520	
Stat t	-8,45476	
P(T<=t) uni-caudal	1,41775E-16	
t crítico uni-caudal	1,6478	
P(T<=t) bi-caudal	2,83551E-16	
t crítico bi-caudal	1,96454	

A hipótese nula na comparação entre coleta com ensino tradicional com tutor de navegação inteligente supõe que não há diferença significativa entre as médias. Neste caso, o t crítico uni-caudal vale 1,65 e observa-se uma estatística t (observado) igual a -8,72, dentro da região crítica. O t observado é significativo, permitindo afirmar que o sistema proposto apresenta melhores resultados em relação ao ganho normalizado. Desta forma, a hipótese nula foi rejeitada, indicando que a diferença dos ganhos entre os dois sistemas é significativa e a melhoria obtida no resultado final pelo sistema proposto não é devido ao acaso. O detalhamento dos dados é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15: Comparação do ganho normalizado - Tradicional x Jogo STI

	<i>Tradicional</i>	<i>Jogo Intel.</i>
Média	37,8714	69,3191
Variância	1004,8303	153,3254
Observações	84	90
Variância agrupada	564,2261	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	172	
Stat t	-8,7268	
P(T<=t) uni-caudal	1,1037E-15	
t crítico uni-caudal	1,653760949	
P(T<=t) bi-caudal	2,20739E-15	
t crítico bi-caudal	1,9739	

A hipótese diretamente testada, relativa às médias de ganho normalizado das amostras coletadas no jogo com navegação livre, em comparação com aquelas do jogo com navegação inteligente, supõe que não há diferença entre tais médias. Observa-se uma estatística t igual a -5,7 e t crítico uni-caudal igual a 1,65, dentro da região crítica. Portanto, a hipótese nula foi rejeitada, indicando a diferença significativa entre as médias de ganho, não devendo ser entendida como casual. O teste t-Student é apresentado na Tabela 16.

Tabela 16: Comparação do ganho normalizado – Jogo livre x Jogo STI

	<i>Jogo Livre</i>	<i>Jogo Intel.</i>
Média	58,3014	69,3191
Variância	298,8624	153,3254
Observações	438	90
Variância agrupada	274,2373	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	526	
Stat t	-5,74869	
P(T<=t) uni-caudal	7,6278E-09	
t crítico uni-caudal	1,6478	
P(T<=t) bi-caudal	1,52556E-08	
t crítico bi-caudal	1,9645	

Portanto, segundo as análises realizadas acima, de uma forma geral o sistema tutor inteligente baseado em jogos digitais se mostrou superior como ferramenta de ensino. Conclui-se que as estratégias de ensino apresentadas pelo trabalho do córtex artificial aplicado ao sistema tutor promoveu melhores resultados em relação ao ganho de conhecimento dos aprendizes.

9.4 ANÁLISE DA APRENDIZAGEM CONTÍNUA DO CÓRTEX

Conforme explica o Capítulo 7, o córtex artificial aprende continuamente por meio de retroalimentação com filtragem dos melhores resultados, considerando-se os critérios de avaliação (eficácia e eficiência). O sistema que utilizou o córtex artificial obteve os melhores resultados nos experimentos anteriores. Isso significa que ele foi eficaz na tentativa de alcançar seus objetivos, pelo menos segundo as medidas definidas por sua área funcional terciária (nesse caso, a média das notas finais e a média de ganho de aprendizagem).

Mesmo que tenha sido eficaz em seu primeiro ciclo de aprendizado, conforme mostram os dados, torna-se necessário avaliar se o córtex artificial foi eficiente. Isto significa verificar o uso de recursos pelos aprendizes em cada atividade, utilizando-se da Equação (24), apresentada no Capítulo 8.

Torna-se possível verificar forte correlação entre as variáveis “Ganho” e “Eficiência”, por meio da Figura 169.

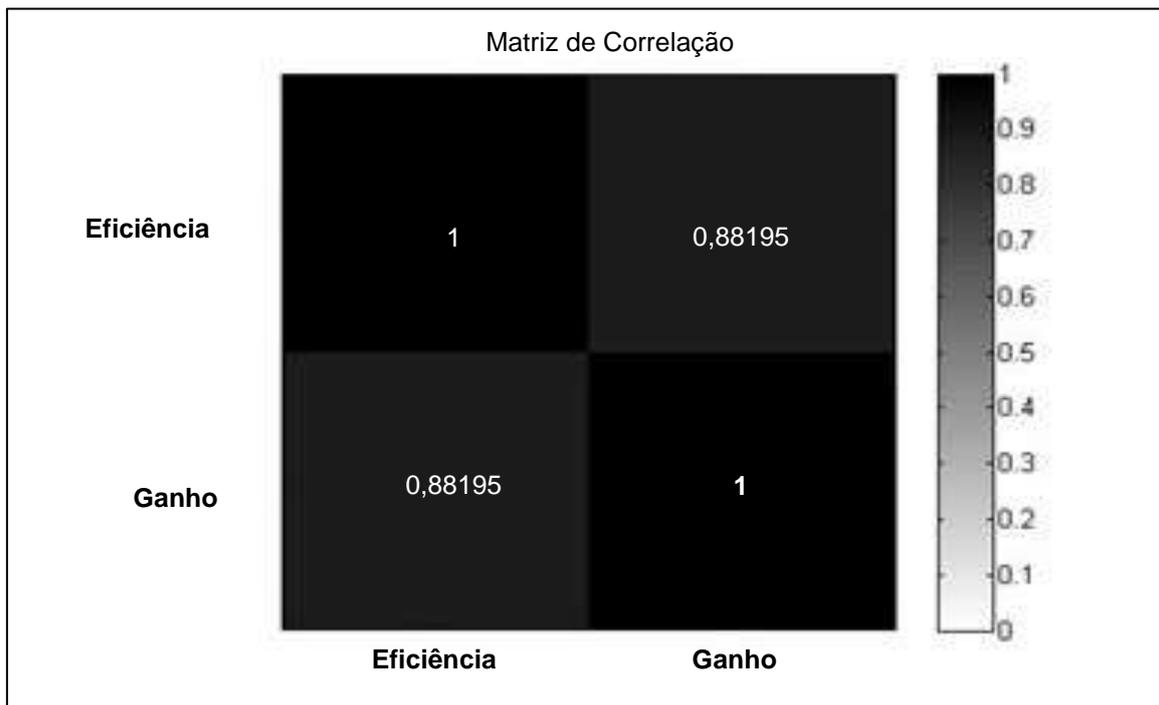


Figura 169: Correlação entre Ganho e Eficiência

Analisando-se a dispersão dos dados de Ganho proporcionado pelo uso do córtex artificial e os valores de Eficiência do mesmo, é possível notar uma tendência positiva, isto é, quando a eficiência do córtex aumenta há uma resposta positiva em relação à sua

eficácia (aumento do ganho de conhecimento).

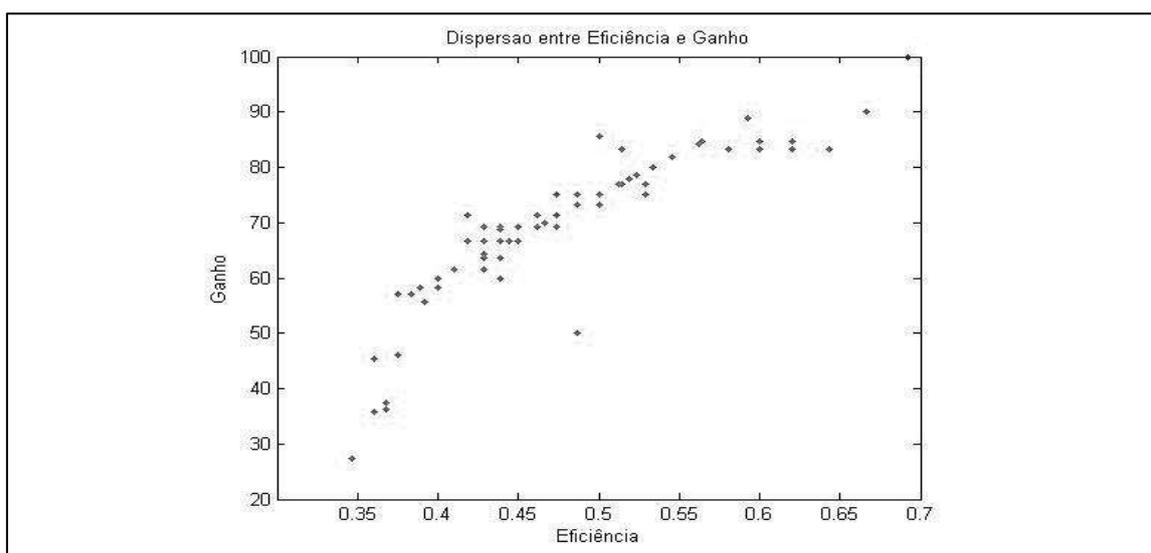


Figura 170: Gráfico de dispersão entre Ganho e Eficiência.

Observa-se, porém, que há uma maior concentração com ganho entre 60% e 70% e eficiência entre 40% e 50%. A Tabela 17 apresenta as medidas básicas da amostra analisada, considerando-se Eficiência e Ganho.

Tabela 17: Medidas básicas da amostra – observando ganho e eficiência.

	<i>Eficiência</i>	<i>Ganho</i>
Média	47,34	69,32
Erro padrão	0,76	1,31
Mediana	46,15	69,23
Modo	46,15	69,23
Desvio padrão	7,21	12,38
Variância da amostra	0,52	153,33
Intervalo	34,62	72,73
Mínimo	34,62	27,27
Máximo	69,23	100,0
Contagem	90	90

Embora sistema tutor inteligente com uso do córtex artificial tenha apresentado resultado significativamente melhor em comparação com as outras formas testadas, de acordo com o exposto na seção anterior, o máximo de eficiência alcançado foi de 69% para um ganho de conhecimento de 100% (eficácia), registrando apenas um caso. A média de eficiência foi relativamente abaixo do esperado. Há, portanto um potencial de aprendizagem para o córtex artificial. A ideia de realizar ciclos de aprendizagem é melhorar a eficiência e, conseqüentemente, melhorar a média do indicador de eficácia.

Para que ocorra um ciclo de aprendizagem do córtex, realiza-se a retroalimentação das redes neurais das áreas funcionais secundárias de forma cooperativa (ou seja, com a alimentação de suas respectivas entradas, com os valores de um mesmo conjunto). Vale lembrar que todos os dados coletados até então, incluindo o conjunto de dados do treinamento original e os coletados na fase de uso, estão armazenados na memória comportamental do córtex artificial. No novo ciclo de aprendizagem, passa-se a treinar as redes com memória comportamental, porém, com as condições definidas pelos os filtros cognitivos. Essas condições são estabelecidas conforme o que se deseja alcançar de eficiência. Para este caso foram definidas as seguintes condições de filtro (com base nos conjuntos de objetivos, previamente estabelecidos para o experimento, nas áreas límbicas do córtex-artificial):

- a. Ganho $\geq 70\%$;
- b. Eficiência $\geq 50\%$.

A aplicação dos filtros cognitivos poderia resultar em uma redução drástica dos casos válidos da amostra a ser utilizada para o treinamento do próximo ciclo de aprendizado. Isso poderia prejudicar alguns “perfis” ou “padrões” dentro da amostra. Entretanto, o filtro cognitivo possui mecanismos de verificações para evitar isso. Um exemplo desses mecanismos é a verificação do tamanho da amostra resultante (com o uso do filtro). Se o tamanho do conjunto de dados de treinamento for muito inferior ao do ciclo anterior, o rigor do filtro é reduzido, utilizando-se a média entre valores desejados com valores dos filtros obtidos no último ciclo (neste caso, tanto para eficiência quanto para eficácia). Além do tipo de verificação anteriormente citado, realiza-se, também, o equilíbrio das amostras.

O equilíbrio supracitado é alcançado por meio de procedimentos para igualar as amostras dentro das bases de dados utilizadas para os treinamentos (áreas funcionais secundárias sensitivas). Para realizar o processo de aprendizagem cooperativa entre as redes do córtex artificial, torna-se necessário dividir a base de treinamento (memória comportamental já filtrada) em três conjuntos iguais, isto é, um conjunto para cada uma das redes neurais utilizadas no córtex artificial. O passo seguinte consiste na reamostragem, por meio de seleção aleatória simples, com repetição (utilizando como domínio para a repetição os valores encontrados pelo filtro), até que todos os casos tratados por cada uma das redes sejam igualados ao de maior frequência. Dessa

maneira, as redes são treinadas, reforçando as características desejadas, encontradas nos dados da memória comportamental após o último ciclo de uso do sistema. A Figura 171 apresenta uma representação gráfica desse algoritmo.

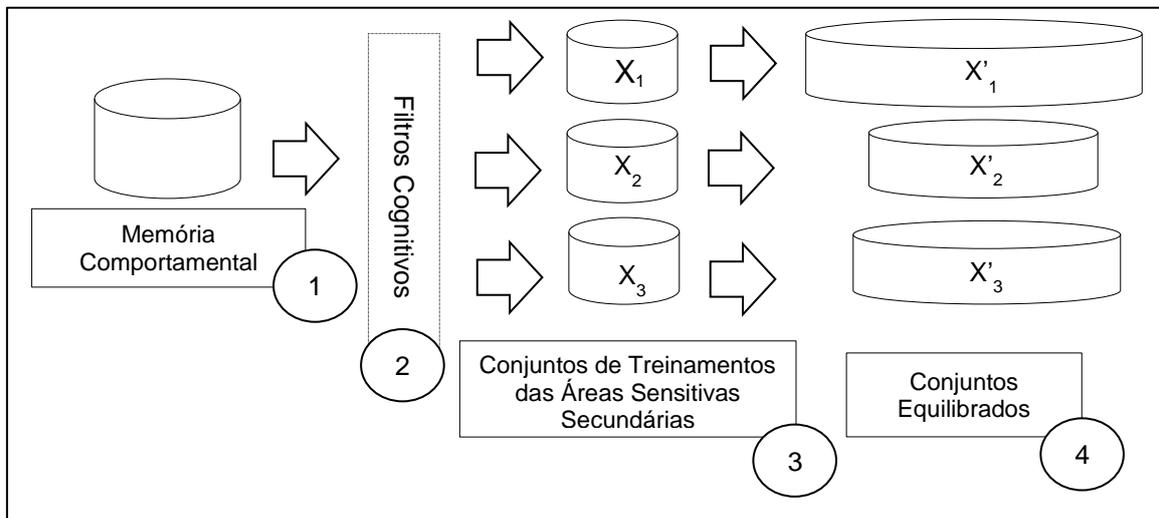


Figura 171: Esquema de preparação dos dados para o ciclo.

As rotinas de treinamento seguem os mesmos passos observados anteriormente, na Seção 9.2.4. Após a conclusão do ciclo de aprendizagem, o sistema deve ser colocado novamente em uso. Após o uso, repetem-se os passos de avaliação de eficácia e eficiência e compara-se com o ciclo anterior.

Após mais dois ciclos de uso o córtex artificial apresenta, por meio de seus resultados, a confirmação de que o aprendizado contínuo do córtex artificial teve efeito positivo nos resultados esperados. A Tabela 18 mostra o comparativo das estatísticas básicas dos três ciclos de aprendizagem.

Tabela 18: Comparativo de medidas dos ciclos de aprendizagem.

Ciclos	Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3	
	Eficiência	Ganho	Eficiência	Ganho	Eficiência	Ganho
Média	47,34	69,32	53,60	78,29	71,64	86,94
Erro padrão	0,76	1,31	0,69	1,01	1,31	1,02
Mediana	46,15	69,23	52,69	78,39	66,48	86,66
Desvio padrão	7,21	12,38	7,53	11,00	13,21	10,24
Variância da amostra	51,97	153,33	56,76	121,07	174,59	104,90
Intervalo	34,62	72,73	41,86	65,00	45,26	38,34
Mínimo	34,62	27,27	39,13	35,00	50,25	61,66
Máximo	69,23	100,00	80,99	100,00	95,51	100,00
Contagem	90	90	118	118	101	101
Índice de correlação		0,8820		0,8366		0,9160

É possível notar a evolução de observando-se os gráficos de dispersão dos dados dos resultantes do uso após cada um dos três ciclos.

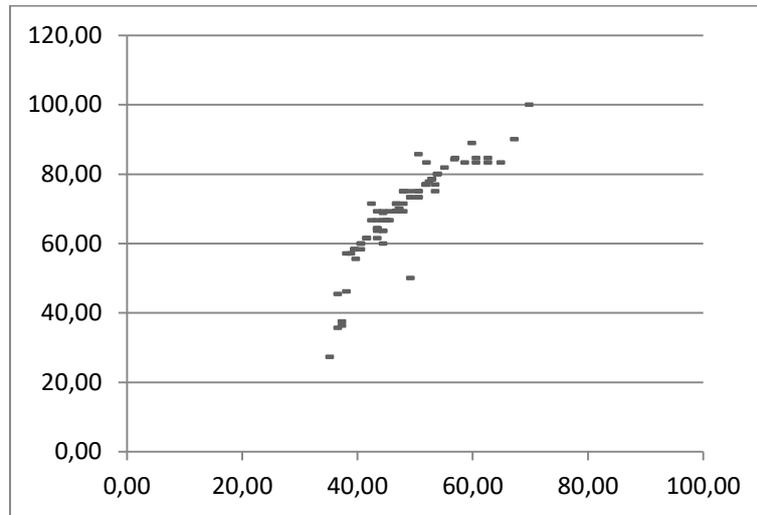


Figura 172: Dispersão Ganho x Eficiência – Ciclo 1.

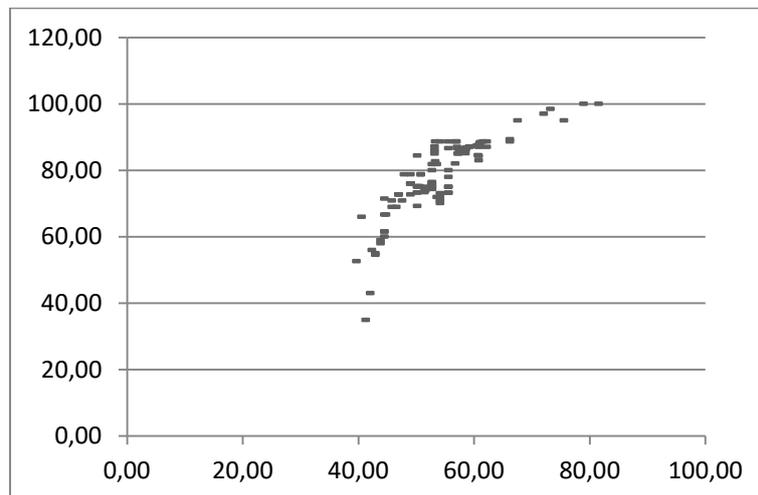


Figura 173: Dispersão Ganho x Eficiência – Ciclo 2.

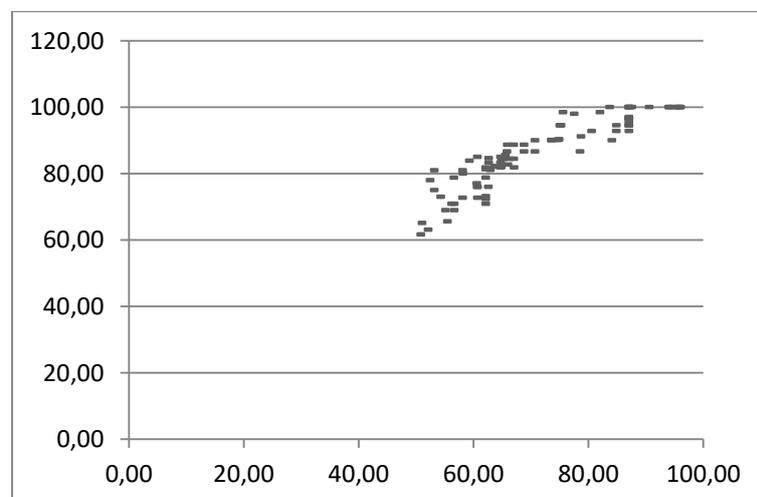


Figura 174: Dispersão Ganho x Eficiência – Ciclo 3.

É possível observar que houve uma melhoria tanto em eficiência quanto em eficácia e que, de certa forma, isso configura um aprendizado por parte do córtex artificial. Isso significa que ele aprendeu, por meio da filtragem e realimentação dos dados provenientes de sua memória comportamental, o que resultou na melhoria de seu desempenho.

As Figuras 175 e 176, abaixo, apresentam as curvas de aprendizagem de eficiência e eficácia (ganho de conhecimento proporcionado ao aprendiz), levando-se em conta suas respectivas médias.

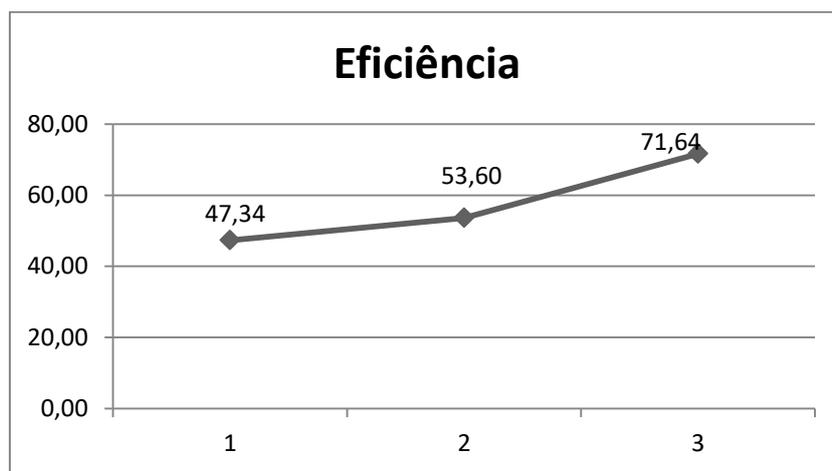


Figura 175: Curva de aprendizagem do córtex artificial em relação à eficiência.

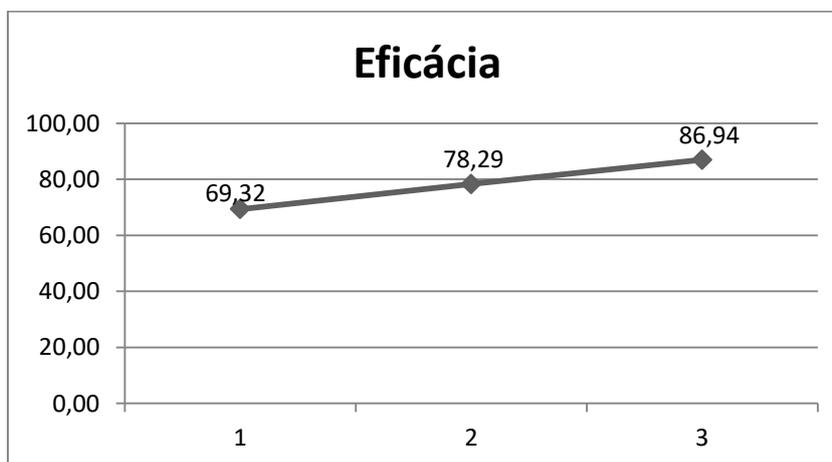


Figura 176: Curva de aprendizagem de eficácia - ganho (retenção de conhecimento).

Observa-se a melhoria tanto em termos de eficiência quanto de eficácia. Porém, para saber se essa melhoria é significativa, parte-se para a comparação entre o indivíduo (córtex artificial) com ele mesmo, utilizando-se do teste t-Student comparando-se as amostras do Ciclo 1 com o Ciclo 3.

A hipótese testada parte da afirmação que as médias são equivalentes, isto é, provenientes de uma mesma população, e descartando um aprendizado significativo.

Comparando-se primeiramente o ganho, observa-se que o teste apresenta um valor de t igual em módulo a 10,75 dentro da região crítica (t crítico = 1,65). Dessa forma, a hipótese nula foi rejeitada e pode-se afirmar um aumento significativo da eficácia. O teste t-Student relativo a essa comparação é apresentado na Tabela 19.

Tabela 19: Comparação de eficácia entre o Ciclo 1 e o Ciclo 3

	<i>Ciclo 1</i>	<i>Ciclo 3</i>
Média	69,3190	86,9353
Variância	153,325	104,8966
Observações	90	101
Variância agrupada	127,7017	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	189	
Stat t	-10,7542	
P(T<=t) uni-caudal	1,19E-21	
t crítico uni-caudal	1,65296	
P(T<=t) bi-caudal	2,38E-21	
t crítico bi-caudal	1,9726	

Comparando-se as médias de eficiência, observa-se que o teste apresenta um valor de t igual em módulo a 15,50 dentro da região crítica (t crítico = 1,65). Dessa forma, a hipótese nula foi rejeitada e pode-se afirmar, também, uma melhoria significativa de eficiência. O teste t-Student relativo a essa comparação é apresentado na Tabela 20.

Tabela 20: Comparação de eficiência entre o Ciclo 1 e o Ciclo 3

	<i>Ciclo 1</i>	<i>Ciclo 3</i>
Média	47,3394	71,6423
Variância	51,9747	174,5936
Observações	90	101
Variância agrupada	116,8524	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	189	
Stat t	-15,5097	
P(T<=t) uni-caudal	7,8E-36	
t crítico uni-caudal	1,6530	
P(T<=t) bi-caudal	1,56E-35	
t crítico bi-caudal	1,9726	

Com base nas análises apresentadas, pode-se concluir que o modelo de córtex artificial alcançou seus objetivos de aprendizado, melhorando sua eficiência e eficácia e, também, aprendendo por meio da observação e correção de seu próprio comportamento.

CAPÍTULO 10: CONCLUSÃO

"Aquele que sua força conhece e sua fraqueza esconde, vale

um império. "

(Lao Tsé)

10.1 INTRODUÇÃO

Busca este esforço de pesquisa apresentar um sistema computacional baseado em *machine learning*, para tomada de decisões sobre problemas complexos. Esboçado no Capítulo 7 deste trabalho, o sistema computacional foi proposto para traçar estratégias e alcançar seus objetivos, aprendendo como fazer isso ao longo do tempo, de forma gradativa.

Parte-se da ideia geral de que o sistema de *machine learning* consiga desenvolver suas estratégias, voltadas à resolução de problemas complexos, fazendo-o por meio de ciclos de aprendizado, filtros de dados e outros mecanismos (v. g., sistemas especialistas), que funcionem com relativamente poucos dados. A esse sistema atribuiu-se o nome de Córtex Artificial, por ser inspirado na divisão do cérebro humano por áreas.

Em tese, o modelo do Córtex Artificial, por sua concepção, pode ser aplicado na resolução de qualquer problema complexo. Deve-se levar em conta que o problema deve ser analisado e os critérios de eficiência e eficácia para a sua solução sejam estabelecidos. Além dessas aferições básicas, evidentemente podem ser integradas outras, na forma de reguladores, por exemplo. As avaliações, no contexto do Córtex Artificial, servem como ferramentas de diagnóstico e têm o intuito de apresentar soluções que levem à melhoria do aprendizado do próprio modelo proposto.

Portanto, conforme apresenta o corpo do presente trabalho científico, para a concepção, observação e experimentos envolvendo o modelo proposto no Capítulo 7, opta-se por desenvolver e utilizar um sistema que permita, de forma oportuna, a

observação do fenômeno de aprendizagem cooperativa em humanos e que permita, ao mesmo tempo, a replicação desse modelo de aprendizagem em um sistema de *machine learning* original (o Córtex Artificial).

Elegeu-se como problema a ser solucionado pelo sistema proposto, aquele tratado no Capítulo 1, referente ao processo de ensino-aprendizagem. A escolha deu-se pela complexidade do tema e pela necessidade de alterações das estratégias de ensino, considerando-se o processo individual de aprendizagem.

Para testar o Córtex Artificial na solução da questão acima citada, desenvolve-se um sistema tutor inteligente híbrido com aprendizagem cooperativa e baseado jogos digitais. Esse sistema de aplicação do Córtex Artificial foi pensado para favorecer a aprendizagem cooperativa por meio de interação social e, de certa forma, como um “entretenimento duro”¹⁵⁹. Como se disse, vale destacar que a inteligência do sistema tutor provém do uso do sistema de Córtex Artificial. A junção dessas tecnologias, explicada no Capítulo 8, resulta em uma ferramenta de apoio ao processo de ensino-aprendizagem, conforme atestam os relatos apresentados no Capítulo 9.

Com o objetivo de verificar a eficácia, tanto do Córtex Artificial quanto do sistema tutor, testa-se uma real possibilidade de ganho com o uso de tal modalidade de ensino. Com isso, apresenta-se a comparação dos resultados obtidos da utilização do sistema proposto com os resultados obtidos por meio do ensino tradicional e, também com um sistema baseado em jogos digitais de navegação livre (onde o aprendiz deve buscar conteúdos por ele mesmo).

Comparações realizadas entre as três amostras (tradicional, jogo livre e jogo inteligente) são apresentadas por meio de estatística descritiva e, também, empregando técnicas de estatística inferencial para efetuar generalizações. Na primeira modalidade de estatística (descritiva), são descritos os resultados imediatos, aplicados àquelas amostras especificamente. A segunda (inferencial) indica o quão significante são as diferenças amostrais obtidas em termos populacionais.

Os resultados apontados pela estatística descritiva evidenciam vantagens para o sistema que utiliza o Córtex Artificial, sendo que a média das notas finais obtida pelo

¹⁵⁹ Termo utilizado por PRENSKY (2012) ao se referir ao trabalho duro do aprendizado realizado com entretenimento.

uso do sistema tutor inteligente baseado em jogos digitais é superior às médias das notas finais das outras modalidades testadas. Quanto à média do ganho normalizado, comparando cada aluno a ele próprio¹⁶⁰, o sistema proposto mostra-se acima das médias das outras modalidades.

A hipótese relativa à maior satisfação do usuário com o sistema proposto é fortalecida pelos dados analisados. O sistema proposto apresentou um nível de satisfação acima das outras modalidades.

Também se revelou positivo o resultado, quando analisada a hipótese relativa ao nível de conforto na execução do experimento. O STIHAC-BJD (*GameCoop*) mostra avaliação positiva em relação aos outros dois tipos de ensino (tradicional e jogo livre).

Quanto à hipótese de redução da fadiga dos usuários na utilização do tutor proposto, a análise dos dados revela uma relativa melhora em relação ao método de ensino tradicional. Os dados estatísticos revelam maior fadiga do grupo que submetido ao jogo livre, provavelmente pela falta de uma referência a guiar o processo de aquisição do conhecimento, tornando mais cansativo o aprendizado¹⁶¹.

Com o objetivo de reforçar a comprovação da hipótese principal, utiliza-se da estatística inferencial para verificar se a melhoria obtida é realmente significativa em termos populacionais.

Relembrando a hipótese principal deste trabalho, temos:

- O uso de uma arquitetura, baseada em múltiplas redes neurais cooperativas, aplicada em sistemas de decisões complexas, como em um processo de ensino-aprendizagem, pode melhorar significativamente os resultados esperados.

A análise do teste estatístico t-Student sobre o ganho normalizado mostra que a diferença a favor da amostra que acessou o sistema proposto é significativa. Esta constatação permite concluir que a estratégia de ensino proporcionada pelo sistema proposto é responsável pelo aumento de retenção de conhecimentos, fortalecendo nossa

¹⁶⁰ Em Psicologia, tal situação é conhecida como “sujeito como próprio controle”.

¹⁶¹ Tema que pode ser estudado no futuro, relacionando com a comparação entre performances de treinamento com “aprendizagem supervisionada” e “não-supervisionada” das redes neurais.

hipótese principal. Com esse resultado é atestado que o Córtex Artificial, é eficaz na solução do problema.

Além de comprovar a eficácia do uso do córtex-artificial, testa-se também sua eficiência no decorrer de três ciclos de aprendizagem contínua, isto é, três ciclos em que as redes foram realimentadas com a memória comportamental filtrada, reforçando as características de eficiência que se desejava obter. Nesse caso, buscou-se comparar o sistema proposto com ele próprio (seguindo o exemplo da comparação do aluno com ele mesmo, em termos de ganho). Novamente, a análise do teste estatístico comprova melhoria significativa tanto do ganho (eficácia), quanto na eficiência (quantidade de recursos utilizados para se chegar ao objetivo).

Portanto, os experimentos realizados reforçam que os resultados positivos são provenientes do funcionamento adequado do Córtex, conforme este estudo propôs-se a provar.

10.2 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

O presente trabalho apresenta a aplicabilidade de um sistema de Córtex Artificial baseado em redes neurais cooperativas, visando a uma arquitetura de *machine learning* que permita decisões realmente complexas, baseadas em múltiplas especialidades. Também permite estudar a combinação de jogos digitais, aprendizagem cooperativa e sistemas tutores inteligentes híbridos, com o objetivo de contar com mais uma ferramenta que possa proporcionar melhoria nos resultados do processo de ensino-aprendizagem.

Por meio dos resultados obtidos, verifica-se que o Córtex Artificial comporta-se de modo eficaz e, também, aprendeu a ser eficiente.

Dentre as contribuições produzidas neste trabalho, destaca-se:

- 1) A exposição de uma nova arquitetura de córtex artificial, constituído por redes neurais artificiais em trabalho cooperativo, para tomada de decisões em contexto de complexidade;
- 2) A construção de modelo computacional do córtex-artificial seguida de experimentos que comprovam sua

eficácia quando utilizado para conduzir decisões estratégicas rumo a um objetivo;

- 3) A proposição de uma nova arquitetura para o sistema tutor inteligente, evoluindo as características dos modelos propostos até então;
- 4) A possibilidade do uso de características de jogos digitais e de interação social em um sistema tutor para dispositivos móveis;
- 5) A melhoria na interatividade com o conteúdo, uso de *feedback* de jogos digitais para motivar a aprendizagem através de um STI;
- 6) O uso de aprendizagem cooperativa em um jogo sem competição, reduzindo possíveis desmotivações por parte dos aprendizes;
- 7) O desenvolvimento de estratégia de ensino baseada em características individuais, tornando o ensino personalizado e mais efetivo;
- 8) A utilização do conhecimento de especialistas em ensino para melhor sintonizar a navegação do aprendiz ao seu desempenho momentâneo, inibindo, inclusive, a aparição de incoerências na mudança de níveis de apresentação do conteúdo;
- 9) O enriquecimento da forma de avaliação objetiva com a inclusão de alternativas parcialmente corretas, com o objetivo de diagnosticar melhor as deficiências de conhecimento do aprendiz;
- 10) O trabalho empírico de implementação, coleta e análise de dados, sustentando estatisticamente os resultados obtidos e apontando para a necessidade do uso desta metodologia no desenvolvimento das pesquisas na área.

10.3 TRABALHOS FUTUROS

A forma pensada para a elaboração do presente trabalho, com fundamentos teóricos multidisciplinares e buscando informações complementares, possibilita aplicações e aprofundamento em diversas áreas de pesquisa, tais como:

- **MACHINE LEARNING:**

A coleta das amostras, utilizando o córtex-artificial, foi rica em detalhes e informações, possibilitando diversas novas considerações para melhorar ou alterar sua estrutura, como por exemplo:

- a. Incorporar outros tipos de redes;
- b. Implementar uma rede neural não supervisionada, como complemento da memória comportamental para encontrar padrões de comportamento para compor filtros dinâmicos;
- c. Criar sistemas de classificação mais complexos, unindo várias formas de classificação em um único córtex (todas as redes irão aprender com a que tiver melhor resultado de classificação). Nesse caso, os parâmetros para verificar:
 - c.1 - A eficácia: poderiam ser os valores máximos para: taxa de acerto, sensibilidade, especificidade ou valor preditivo positivo.
 - c.2 - A eficiência: utilizar a redução do valor preditivo negativo, falsos alarmes ou falsas perdas.

- **EDUCAÇÃO:**

- a. Aprimorar métodos de ensino por meio de sistemas tutores inteligentes;
- b. Criar um novo STI baseado em jogo, para ensinar, de forma multidisciplinar (motora e conteúdo ao mesmo tempo), utilizando tecnologia VR – Virtual Reality (ultimamente bastante comum para dispositivos móveis);
- c. Criar métodos de avaliação inteligentes que permitam diagnosticar os problemas do processo de ensino-

aprendizagem, com o objetivo de minimizar o déficit de aprendizagem dos indivíduos;

d. Identificar e testar outros elementos que possam auxiliar no processo de ensino-aprendizagem;

▪ **PSICOLOGIA:**

a. Aprofundar nos aspectos estilos de aprendizagem, por exemplo, substituindo uma das redes do córtex artificial;

b. Testar outros aspectos psicológicos do indivíduo no desenvolvimento de alguma habilidade ou mesmo no aprendizado;

c. Uso do córtex artificial para auxílio em estudos psicológicos.

▪ **MEDICINA**

a. Treinar o córtex-artificial para responder a estímulos do cérebro, dos músculos e nervos simultaneamente para o uso de próteses mecatrônicas;

b. Uso do córtex artificial para auxiliar em diagnósticos complexos, como, por exemplo, para doenças dermatológicas do tipo eritemato-escamosas, que são de difícil diagnóstico (sintomas similares em várias fases). Para esse caso específico uma rede poderia ser treinada com dados clínicos e outra com dados histopatológicos, por exemplo. Os resultados seriam computados e corrigidos em cada ciclo de aprendizagem, refinando cada vez mais o conhecimento do córtex artificial;

▪ **SISTEMAS DE INFORMAÇÃO:**

Aplicação da ideia do córtex em sistemas de informação específicos para auxiliar na tomada de decisão, dentre eles os tipos mais conhecidos:

a. Sistemas de gestão de relacionamentos com clientes - *Customer Relationship Management* (CRM) – além de analisar o comportamento do cliente (o mais comum), auxiliar na análise das características necessárias às organizações, para conquistar e manter clientes, analisando-se, paralelamente, as compras de produtos e serviços de atendimento;

- b. Sistemas de gestão da cadeia de suprimentos - *Supply Chain Management Systems* (SCM): por exemplo, entendendo a sazonalidade de um produto, seu estoque mínimo, realizando uma estimativa de venda para um determinado mês, poderia além de decidir o volume de compra, planejamento financeiro para compra, (ao comprador), ou planejar a logística, *cross-docking*, produção (ao fornecedor), dentre outros;
- c. Sistema de gestão empresarial - *Enterprise Resource Planning* (ERP): auxiliar na gestão empresarial, auxiliando a utilizar melhor os recursos empresariais, análise simultânea dos indicadores de cada área da organização, levando-se em conta o comportamento do mercado, sazonalidade e outros fatores variáveis para auxiliar na tomada de decisões estratégicas;

- SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES

Como complemento ao trabalho já desenvolvido:

- a. Incluir um agente artificial na interação, auxiliando com dicas para resolução do problema, como se fosse um aprendiz-jogador. Dessa forma o sistema se torna ainda mais independente do tutor humano. Em outras palavras, o ambiente de cooperação poderia utilizar um agente inteligente baseado em I.A. simbólica cuja base de conhecimento seria formada com base nas principais dúvidas técnicas sobre o conteúdo (conforme descrito anteriormente). Tal agente poderia abordar o assunto referente a uma atividade, de forma a não respondê-la diretamente, mas dando pistas para que o aprendiz-jogador chegue à resposta por ele mesmo;
- b. Criar regras para gerenciar a cooperação entre indivíduos (aperfeiçoando a ferramenta de planejamento, ensejando melhor definição de tarefas, melhor definição de uso de recursos coletados nos ambientes, melhorando a relação entre atividades e de papéis, negociação, propiciando compromisso, por meio de dados sobre as dificuldades do grupo) e o tempo

de cada atividade, com isso, acredita-se que o sistema tutor baseado em jogos digitais poderia ficar ainda menos cansativo;

- c. Utilizar o resultado de parte da interação social (separando o que é dúvida técnica sobre o conteúdo) para servir de base de conhecimento para formação de novos conteúdos adaptáveis às necessidades mais comuns observadas. Tal alteração pode criar uma nova arquitetura de sistema tutor, diferente e promissora. Para tanto, torna-se necessário criar uma forma de análise dessa interação social (analisador semântico, por exemplo).

▪ APLICAÇÕES DIVERSAS:

- a. Aplicar da ideia do córtex artificial em diversas áreas que exigem atenção em mais de uma dimensão de dados, como complemento às ferramentas de tomada de decisão, como por exemplo, aplicação em *business intelligence* (BI), *data mining* e *big data* (temas atuais que lidam com grandes volumes de dados para tomada de decisões);
- b. Integrar o córtex-artificial a máquinas de buscas bastante utilizadas na Internet;
- c. Realizar alinhamento estratégico, utilizando *Balanced Scorecard*, em que cada dimensão de perspectiva (cliente, processos internos, financeira e aprendizagem), auxilie na composição do planejamento estratégico;
- d. Aplicar outras técnicas (baseadas em psicologia ou em neurociência), para investigar novas sensações relativas ao experimento. Talvez o uso de reconhecimento facial, para identificar emoções ou sensações apresentadas pelos aprendizes-jogadores (bem possível com a câmera frontal em dispositivos móveis).

10.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Proveniente do Latim *scientia* (traduzido como “conhecimento”) e *scire* (traduzido como “conhecer, saber”), o termo “ciência” refere-se ao fascínio pelo descobrimento, por quaisquer práticas sistemáticas que têm por objetivo elevar o conhecimento humano sobre o funcionamento do Universo. Fascínio esse que impulsiona os seres humanos à contínua autossuperação, ao enfrentamento de dúvidas e à permanente busca de conhecimentos.

Academicamente, ciência refere-se ao sistema de adquirir conhecimento baseado no método científico, bem como ao corpo organizado de conhecimento obtido por meio de pesquisas científicas.

Observa-se que há uma gama enorme de aplicações para o modelo de Córtex Artificial proposto, que, em tese, pode ser utilizado em qualquer tipo de sistema que exige tomada de decisões complexas. Ambiciona-se que o presente estudo seja alicerce para novos estudos em *Machine Learning*, mas não somente. Além de perceber possíveis aplicações e novas estruturas para o Córtex Artificial, os temas explanados no trabalho abrem possibilidades para diversos estudos em diversas outras áreas.

Acredita-se que o presente estudo tenha alcançado seu objetivo principal, honrando o programa de doutorado, seguindo o método científico e apresentando uma tese com intuito de, além colocar hipóteses à prova, também informar, inspirar e, principalmente, instigar novos questionamentos. Esse último, tanto sobre o tema primário, o desenvolvimento de nova perspectiva de aprendizado de máquina (o Córtex Artificial), quanto a abrir possibilidades de influenciar estudos de outras áreas, neste, referenciadas.

Referências Bibliográficas

- ABBAGNANO, N., **Dicionário de Filosofia**. São Paulo, Martins Fontes, 1998.
- AGUADO, M. J. D., **Educação Intercultural e aprendizagem cooperativa**. 1ª. Ed. Porto, Porto Editora, 2000.
- ALENCAR, W. S., **Sistemas Tutores Inteligentes Baseados em Redes Neurais**. Dissertação M.Sc., Escola de Engenharia Elétrica e de Computação/UFG. Goiânia, GO, Brasil, Janeiro, 2000.
- ALLISON, C., HAYES, J., “The learning style questionnaire: an alternative to Kolb’s inventory?”, **Journal of Management Studies**, pp269-281, 1988.
- ALLISON, C., HAYES, J., “Validity of the Learning Style Questionnaire”, *Psychological Reports*, 67, pp859-866, 1990.
- ALMEIDA, P. N., **Atividade Lúdica: técnicas e jogos pedagógicos**. São Paulo, SP, Loyola, 2003.
- AMARAL, J. D. **Jogos Cooperativos**. São Paulo, SP, Phorte, 2004.
- ARRIÈS, P., **História Social da Criança e da Família**. Rio de Janeiro, RJ, Guanabara, 1981.
- ARRUDA, E. P., **Aprendizagem e jogos digitais**. São Paulo, SP, Editora Alínea, 2011.
- AUSUBEL, D. P., **Educational Psychology: A Cognitive View**. New York, Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D., HANESIAN, H., **Psicologia Educacional**. New York, Editora Interamericana, 1978.
- AUSUBEL, D. P., **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo, Moraes, 1982.
- BALLESTRO-ALVAREZ, M. E., **Manual de organização, sistemas e métodos: abordagem teórica e prática da engenharia da informação**. Ed. Atlas, São Paulo, SP, 1997.
- BARBOSA, F. F., (2002), **Estilos de Ensino e Aprendizagem**, Departamento de Engenharia Elétrica. Porto Alegre, RS, 2002. Disponível em:

<<http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000318645&loc=2007&ext=pdf&l=26cf565741f4e039>>. Acesso em: 15/11/2014.

BARKLEY, R. A., ANASTOPOULOS, A. D., ROBIN, A. L., LOVETT, B. J., *et al.*, **Transtorno de déficit de atenção/hiperatividade: manual para diagnóstico e tratamento**. 3º ed., Porto Alegre, Artmed, 2008.

BEAR, M. F. CONNORS, B. W., PARADISO, M. A. **Neurociências: desvendando o sistema nervoso**. Porto Alegre, Artemed, 2006.

BECK, J. C.; WADE, M., **Got Game: how the gamer generation is reshaping business forever**. Harward Business School Press, 2004.

BECKER, F., **O que é o construtivismo?**, Ideias, Nº 20. São Paulo: FDE, 1994. Disponível em: <http://www.crmariocovas.sp.gov.br/pdf/ideias_20_p087-093_c.pdf>. Acesso em: 14/11/2015.

BELBIN, R. M. **Management Teams - Why They Succeed or Fail**. Butterworth Heinemann, Oxford, 1981.

BELBIN, R. M., **Team Roles at Work**. Butterworth Heinemann. Oxford, 1993.

BELBIN, R.M., **Beyond the Team**. Butterworth Heinemann. Oxford, 2000.

BERGAMINI, C. W., **Motivação nas organizações**. 5ª ed, São Paulo, Atlas, 2008.

BESSA, N.; FONTAINE, A. M., **Cooperar para aprender – Uma introdução à aprendizagem cooperativa**. 1ª Ed. Porto, Edições ASA, 2002.

BOHN, V. C. R., **Comunidades de Prática na Formação Docente: Aprendendo a Usar Ferramentas da Web 2.0**, Dissertação M.Sc., UFMG, Junho, 2010.

BORJA, S. M., **El juego infantil (organizacion de Ludotecas)**. Barcelona: Oikos-tau, 1980.

BLOOM, B., “The 2 sigma problem: The search for methods of instruction as effective as one-to-one tutoring”. **Educational Researcher**, Vol. 13, pp. 4-16, 1984.

BPM CBOOK, (2013), **Guia para o Gerenciamento de Processos de Negócios – Corpo Comum de Conhecimento – ABPMP BPM CBOOK V3.0 1ª Edição**, 2013. Disponível em:

<http://c.ymcdn.com/sites/www.abpmp.org/resource/resmgr/Docs/ABPMP_CBOOK_Gui

de__Portuguese.pdf>. Acesso em: 02/02/2013.

BRAGA, A. P., CARVALHO, A. P. L. F., LUDEMIR, T. B., **Redes Neurais Artificiais Teoria e aplicações**. 2ª Edição - Rio de Janeiro, LTC, 2007.

BROUGÈRE, G., **Jogo e Educação**. Porto Alegre, Artes Médicas, 1998.

BROTTO, F. O., **Jogos cooperativos: se o importante é competir, o fundamental é Cooperar**. Santos, Projeto Cooperação, 1999.

BROTTO, F. O., **Jogos cooperativos: o jogo e o esporte como um exercício de convivência**. Santos, Projeto Cooperação, 2001.

BROWN, G., **Jogos cooperativos: teoria e prática**. 5ª ed. São Leopoldo, RS, Sinodal, 1994.

BUCHANAN B. G; SHORTLIFFE E. H., **Rule-Based Expert Systems: The MYCIN**. Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project, Addison-Wesley, 1984.

CARDOSO, S. M. V. e JANDL, P. Jr., **Estilos de Aprendizagem: aprendendo a aprender**. Direito-USF, Bragança Paulista, 1998.

CABRAL, A. R. Y., **Uma proposta metodológica para autoria de WBT**. Dissertação M.Sc. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS, Porto Alegre, Maio, 2001.

CAÑAS, A. J.; FORD, K., “An Environment for Collaborative Knowledge Building”. **Workshop on the Technology and Pedagogy for Collaborative Problem Solving as a Context for Learning**, Toronto, 1992.

CAILLOIS, R., **Os jogos e os homens**. Lisboa, Cotovia, 1990.

CAJAL, S. R., **Die Retine der Wirbelthiere – Weisbaden**, JF, Bergman, 1894.

CAJAL, S. R., “Textura del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados: estudios sobre el plan estructural y composición histológica de los centros nerviosos adicionados de consideraciones fisiológicas fundadas en los nuevos descubrimientos”. Vol. 1, 1899.

CAJAL, S. R., “Textura del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados: estudios sobre el plan estructural y composición histológica de los centros nerviosos

adicionados de consideraciones fisiológicas fundadas en los nuevos descubrimientos”. Vol. 2, 1904.

CARVALHO, S. D., **Mapas Auto-Organizáveis Aplicados a Sistemas Tutores Inteligentes**. Dissertação M. Sc., Escola de Engenharia Elétrica e de Computação - UFG. Goiânia, GO, Brasil, 2002.

CATANIA, A. C., **Learning**. Prentice Hall, Upper Saddle River : New Jersey, USA, 1998.

CHAPMAN, S. J., **Programação em MATLAB para engenheiros**. 2ª Ed., São Paulo, Cengage Learning, 2010.

CHIAVENATO, I., **Introdução à teoria geral da administração**. Makron Books, São Paulo, SP. 1998.

COLLIS, B., “Cooperative Learning and CSCW: Research Perspectives for Internetworked Educational Environments”. **IFIP Working Group 3.3 Working Conference "Lessons from Learning"**. Archamps, França, 1993.

CONGER, J., “Quem é a geração X?”, **HSM Management**, n. 11, pp. 128-138, 1998.

CORREA, F., M., **A Arquitetura de Diálogos entre Agentes Cognitivos Distribuídos**. Tese D.Sc., Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 1994.

CORTEZ, J. P., **Integração de mapas conceituais com sistema tutor inteligente híbrido**. Dissertação M. Sc., Escola de Engenharia Elétrica e de Computação - UFG. Goiânia, GO, Brasil, Agosto, 2004.

CSIKSZENTMIHALYI, M., **Flow: the Psychology of Optimal Experience**. New York, Harper & Row, 1990.

CYBENKO, G., “*Continuous valued Neural Networks with two Hidden Layers are Sufficient*”. **Technical report, Department of Computer Science**, Tufts University, 1988.

DEITEL, H.M. & DEITEL, P. J., **Java, como programar**, 3ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DELAHAYE, B., THOMPSON, B., “Learning styles – What do they measure?”, **Asia Pacific Human Resource Management**, Winter, pp60-68, 1991.

- DEMO, P., **Educação Hoje - "Novas" tecnologias, pressões e oportunidades**. Atlas, São Paulo, 2009.
- DEWEY, J., **Psychology and social practice**. Psychological Review, 1900.
- DILLENOURG, P., “What do you mean by collaborative learning?”, **Collaborative-learning: Cognitive and Computational Approaches**, Oxford, Elsevier, 1999.
- DRUCKER, P., **Sociedade pós-capitalista**. São Paulo, Pioneira, 1993.
- DUNN, R., DUNN, K., PRICE, G.E., “Diagnosing learning styles: a prescription for avoiding malpractices suits”. **Phi Delta Kappan**, Vol. 58, pp418-420, 1977.
- DUNN, R., BEAUDRY, J. A., KLAVAS, A., “Survey of research on learning styles”. **Educational Leadership**, Vol. 46, n. 6, pp50-58, 1989.
- EBERSPÄCHER, H. F; KAESTNER, C. A. A., “A arquitetura de um sistema de autoria para construção de tutores inteligentes hiperídia e seu posicionamento na informática educativa”, **IV Congresso RIBIE**, Brasília, 1998.
- ELLIS, C.A.; GIBBS, S.J.; REIN, G. L. “Groupware: Some Issues and Experiences”. **Communications of the ACM**. 1991.
- ENGELMANN, D. C., (2007), **O Futuro da Gestão de Pessoas: como lidaremos com a geração Y?**, 2007. Disponível em: <<http://www.rh.com.br/Portal/Mudanca/Artigo/4696/o-futuro-da-gestao-de-pessoas-como-lidaremos-com-a-geracao-y.html>>. Acesso em: 10/01/2015.
- FAUSETT, L. V., **Fundamentals of neural networks**. Prentice Hall, 1994.
- FELDER, R. M., SILVERMAN, L. K., “Learning and Teaching Styles in Engineering Education”, **Journal of Engineering Education**, Washington, DC, Vol. 78, n. 7, pp291-296, Abril, 1988.
- FELDER, R. M., HENRIQUES, E. R.,”Learning and Teaching Styles in Foreign and Second Language Education”, **Foreign Language and Anals**, Vol. 28, nº1, pp21-31, 1995.
- FELDER, R. M., (1999), **Index of Learning Styles Questionnaire**. North Carolina, 1999. Disponível em: <<https://www.engr.ncsu.edu/learningstyles/ilsweb.html>>. Acesso

em: 10/01/2013.

FELTRINI, I. F., Coelho, D. S., “Avaliação da eficácia da instrução programada no ensino de verbos regulares e irregulares em espanhol”. **Anais do I Encontro Nacional do Grupo de Estudos de Linguagem do Centro-Oeste**, 2001.

FERREIRA, A. B. H., **Aurélio - Novo Dicionário da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2000.

FREITAS, M. T. A., **Vygotsky e Baktin: um intertexto**. São Paulo, Ática, 1994.

FRÖEBEL, F. W. A., **A educação do homem**. Passo Fundo, RS: Editora UFP, 2001.

FORD, K.M., STAHL, H., ADAMS-WEBBER-WEBBER J., *et al.*, “An Integrated Constructivist Knowledge Acquisition Tool”, **Knowledge Acquisition Journal**, Vol. 3, pp215-236, 1991.

FU L. M., **Neural networks in computer intelligence**. New York, McGraw-Hill, 1994.

FURNHAM, A., “Personality and learning style: a study of three instruments”, **Personality and Individual Differences**, Vol. 13, n. 4, pp429-438, 1992.

GILLEN, G., BURKHARDT, A., **Stroke Rehabilitation – A Function-Based Approach**. Editora Mosby, 1998.

GAGE, N. L., **Handbook of research on teaching**. Chicago, USA, Rand McNally, Inc., 1963.

GALLO, S. N., **Jogo como elemento da cultura: aspectos contemporâneos e as modificações na experiência do jogar**. Tese D. Sc., Programa de Pós-graduação em Comunicação e Semiótica da PUC-SP, São Paulo, Março, 2007.

GARRISON, D. R., “Three generations of technological innovation in distance education”. **The American Journal of Distance Education**, Vol. 6, 1985.

GEE, J. P., **What video games have to teach us about learning and literacy**. New York, Palgrave MacMillan, 2003.

GIRAFFA, L.M.M., **Fundamentos de Teorias de Ensino-Aprendizagem e sua Aplicação em Sistemas Tutores Inteligentes**. Instituto de Informática-UFRGS. Porto Alegre, 1995.

- GIRAFFA, L.M.M, VICCARI, R.M., **The Use of Agents Techniques on Intelligent Tutoring Systems**. Instituto de Informática-PUC/RS. Porto Alegre, 1997.
- GIRAFFA, L. M. M., **Uma arquitetura de tutor utilizando estados mentais**, Tese D. Sc., Ciência da Computação, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, Maio, 1999.
- GOLDSTEIN, M. and BOKOROS, M., “Tilting at windmills: Comparing the learning style inventory and the learning style questionnaire”. **Educational and Psychological Measurement**, Vol. 52, n. 3, pp701-708, 1992.
- GOLDSTEIN, E. B., **Sensation and perception**. Pacific Grove, CA, Brooks, Cole Publishing Company, 1999.
- GOLEMAN, D., **Inteligência Emocional**. Rio de Janeiro, Objetiva, 1995.
- GOLEMAN, D. ; BOYATZIS, R.; MCKEE, A., **O Poder da inteligência emocional**. Rio de Janeiro, Campus, 2002.
- GONÇALVES, J.; MICHDEL, M. H., (2013), “Conflitos geracionais: relação de trabalho numa perspectiva organizacional”, **Anais XXIV ENANGRAD**, Florianópolis, 2013. Disponível em:
<http://www.enangrad.org.br/anais2013/_resources/artigos/egc/17.pdf>. Acesso em: 20/11/2014.
- GONZAGA, M.A., **Sistemas Tutores Inteligentes Baseados em Redes MLP**, Dissertação M. Sc., Escola de Engenharia Elétrica e de Computação - UFG. Goiânia, GO, Brasil, 2004.
- GREENFIELD, P. M., **Mind and Media: the Effects of Television, Video Games and Computers**. Cambridge, Harward University Press, 1984.
- GREENFIELD, P. M., COCKING, R. R., **Interacting with video**. New York: Ablex, 1996.
- GROSZ, B.J, “Collaborative systems”, **AI Magazine**, Vol. 17, n. 2, pp67–85, 1996.
- GRUDIN, J., **Computer Supported Cooperative Work: History and Focus**. Computer. Califórnia, 1994.
- HAKE, R. R., (1987), “Promoting student crossover to the Newtonian world”. **American Journal of Physics**, 55, 878–884. Disponível como referência 40 em:

<<http://www.physics.indiana.edu/~hake>>. Acesso em: 18/11/2014.

HAKE, R. R., (1991), “My conversion to the Arons-advocated method of science education”, **Teaching Education**, 3, 109–111. Disponível como referência 8 em:

<<http://www.physics.indiana.edu/~hake>>. Acesso em: 18/11/2014.

HAKE, R. R., (1992), “Socratic pedagogy in the introductory physics lab”, **Physics Teacher**, 30, 546–552. Disponível como referência 23 em:

<<http://www.physics.indiana.edu/~hake>>. Acesso em: 18/11/2014.

HAKE, R. R., (2000), “Towards paradigm peace in physics education research” **American Educational Research Association**, New Orleans, LA. Disponível como referência 3 em: <<http://www.physics.indiana.edu/~hake>>. Acesso em: 18/11/2014.

HAKE, R. R., (2002), “Socratic dialogue inducing laboratory workshop”, **Proceedings of the United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization ASPEN (ASian Physics Education Network) workshop on active learning in physics**,

University of Peradeniya, Sri Lanka. Disponível como referência 28 em:

<<http://www.physics.indiana.edu/~hake>>. Acesso em: 18/11/2014.

HONEY, P., MUMFORD, A., **The manual of Learning Styles**. 2ª Ed., Maidenhead, Berks, 1986.

HAYES, J., ALLINSON, C., “Cultural differences in the learning styles of managers”, **Management International Review**, Vol. 28, pp75-80, 1988.

HAYDT, R. C., **Avaliação do processo ensino-aprendizagem**. São Paulo, Ática, 2000.

HAYKIN, S. S., **Redes artificiais: princípios e prática**. 2.ed., Porto Alegre, RS, Bookman, 2001.

HARTMANN, S. O. et al., “Use of the Kolb Learning Cycle and the System in Engineering Education.”, **Journal of Engineering Education**, Vol. 82, n.2, pp70-77, 1995.

HARTLEY, J.R., “Managing Models of Collaborative Learning.”, **Computers Education**, Oxford, Vol. 26, n. 1-3, pp163-170, Abril, 1996.

HEBB, D. O., **The organization of behavior**. Wile, New York, New York: 1949.

HMA (2013), **Health, Medicine and Anatomy Reference Pictures** (Copyright ©

2013), disponível em: <<http://healthfavo.com/>>. Acesso em: 23/05/2015.

HIMANEN, P., **A ética dos hackers e o espírito da era da informação: importância dos exploradores da era digital**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

HOLLAND, J. G. & SKINNER, B. F., **The analysis of behavior: a program for self-instruction**. New York, NY, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1961.

HOPFIELD, J. J., **Neural networks and physical systems with emergent collective properties**. Proc. Nat. Acad. Sci., 1982.

HARB, J. N. et al., **Teaching Through the Cycle**. Provo, UT, Brigham Young University Press, 1995.

HUIZINGA, J., **Homo Ludens: o jogo como elemento da cultura**. 5ª ed., São Paulo, Perspectivas, 2007.

JOHNSON, S., **Everything bad is good for you: how today's popular culture is actually making us smarter**. New York: Riverhead Books, 2005.

JONASSEN, D.H., WANG, S., "The Physics Tutor: Integrating Hypertext and Expert Systems.", **Journal of Educational Technology Systems**, Vol. 22, n. 1, pp19-28, 1993.

JOHNSTON, J. M., PENNYPACKER, H. S., **Strategies and tactics of behavioral research**, 2ª ed. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1993.

JULL, J., "The game, the player, the world: looking for a heart of gamene". In: **Digital Games Research Conference**. Netherlands: University of Utrecht, 2003.

JANDL JUNIOR, P., **Introdução ao Java**. São Paulo: Berkeley, 2002.

KANDEL, E. R., SCHWARTZ, J. H., JESSELL, T. M., **Principles of neural science**, New York, NY: McGraw-Hill, 2000.

KATZENBACH, J. R., SMITH, D. K., **Equipes de Alta Performance: conceitos, princípios e técnicas para potencializar o desempenho das equipes**. Editora Campus Ltda. Rio de Janeiro, 2001.

KAPLAN, R., ROCK, D., "New directions for intelligent tutoring systems", **Artificial Intelligence Expert**, February, 1995.

KEEN, T., "Creating Effective Successful Teams", **Purdue University Press**. West

Lafayette, Indiana, 2003.

KINSHUK, **Computer Aided Learning for Entry Level Accountancy Students**, Tese D. Sc., De Montfort University, England, Julho, 1996.

KOEDINGER, K.R, ANDERSON, J.R, HADLEY, W, MARK, M., “Intelligent tutoring goes to school in the big city”, **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, Vol. 8, pp30-43, 1997.

KOHONEN, T., **Self-organization maps** – 2nd ed. (Springer series in information sciences; 30). New York, USA, 1997.

KOLB, D. A., **Learning Style Inventory: Technical Manual**. McBer, Boston, Mass, 1976.

KOLB, D. A., **Experiential Learning: Experience as The Source of Learning and Development**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1984.

KOSTER, R., A, **Theory Of Fun In Game Design**. Paraglyph Press, 2005.

KOVÁCS, Z. L., **Redes Neurais Artificiais: fundamentos e aplicações: um texto básico**. 4 Ed., São Paulo, Editora Livraria da Física, 2006.

LIDEN, R., **Algoritmos Genéticos**. Rio de Janeiro: Brasport, 2008

LINTON, J. D.; WALSH, S. T., “Integrating Innovation and Learning Curve Theory: An Enabler for Moving Nanotechnologies and Other Emerging Process Technologies into Production”, **R&D Management**, Vol. 34, n. 5, Blackwell Publishing, 2004.

LALANE, B., “L’Essentiel du management, 75 Years of Management Ideas & Practice”. **Harvard Business Review**, Setembro-Outubro, 1997.

LECHETA, R. R., **Google Android : aprenda a criar aplicações para dispositivos móveis com Android SDK**. 3ª Ed., São Paulo, Novatec Editora, 2013.

LENT, R., **Cem bilhões de neurônios: conceitos fundamentais de neurociências**. São Paulo, SP, Editora Atheneu, 2001.

LENT, R., (2010), “A educação muda o cérebro. Colunas / Bilhões de neurônios”.

Ciência Hoje. Publicado em: 30/04/2010. Disponível em:

<<http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/bilhoes-de-neuronios/a-educacao-muda-o->

cerebro>. Acesso em: 16/12/2014.

LESSER, G. S., **Children and Television: Lessons from Sesame Street**, New York, Vintage Books, 1975.

LEUNG, J., (1997), **The use of Concept Maps in the Teaching-Learning Process**, 1997. Disponível em: <<http://www.edu.cuhk.edu.hk/~johnson/cmap/cmapguid.html>>. Acesso em 10/2013.

LOIOLA, R., (2009), **Geração Y**. Publicado em: 17/12/2009. Disponível em: <<http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI111370-17579,00-GERACAO+Y.html>>. Acesso em: 12/01/2015.

LUCENA, M W. F. P., **O uso das tecnologias da informática para o desenvolvimento da educação**. Relatório Técnico. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro,1994.

LUCKESI, C. C., **Avaliação da aprendizagem escolar**. 13º ed. São Paulo: Cortez, 2002.

LUCKOW, D. H., MELO, A. A., **Programação Java para a Web**. São Paulo: Novatec Editora, 2010.

LURIA, A. R., **Human Brain and Psychological Process**. Londres: Harper & Row, 1966.

LURIA, A. R., **El Hombre con su Mundo Destrozado**. Madrid, Garnica, 1973.

LURIA, A.R., **El Cérebro em Acción**. Barcelona, Fontanella, 1976.

LURIA, A.R., **Higher Cortical Functions in Man**. New York, Basic Books, 1980.

LURIA, A. R., **Fundamentos de Neuropsicologia**, São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 1981.

MACHADO, F. B., MAIA, L. P., **Introdução à arquitetura de sistemas operacionais**, Rio de Janeiro, RJ, Editora LTC, 1995.

MASINI, E. F. S., **Aprendizagem Totalizante**, 3ª Ed., São Paulo, Memnon, Mackenzie, 1999.

MCCULLOCH, W. S.; PITTS, W. H., “A Logical Calculus of The Ideas Immanent in Nervous Activity”, **Bulletin of Mathematical Biophysics**, Vol. 5, 1943.

- MINSKY, M. L.; PAPERT, S. S., **Perceptrons: an introduction to computational geometry**, MIT Press, Cambridge, MA 1969.
- MCLUHAN, M, FIORI, Q., **War and Peace in the Global Village**. São Francisco, Hardwired, 1997.
- MODHA, D. S., (2008), **Introducing a Brain-inspired Computer - TrueNorth's neurons to revolutionize system architecture**. Pesquisa científica da IBM. Disponível em: <<http://www.research.ibm.com/articles/brain-chip.shtml>>. Acesso em 08/08/2016.
- MOUNDRIDOU, M.; VIRVOU, M., “Authoring Intelligent Tutoring Systems over the World Wide Web”, **First International IEEE Symposium “Intelligent Systems”**, 2002.
- MACHADO A., **Neuroanatomia Funcional**, 2ª Ed., São Paulo, Editora Atheneu, 2006.
- MAGALHÃES, A., **SQL Server 2008: Curso Completo**, 2ª Ed., Lisboa, FCA, 2011.
- MARTINEZ, E. R. M., MARTINS, C, “Show da genética: um jogo interativo para o ensino de genética”, **Genética na Escola**, v. 03, n. 1, p. 1-3, 2008.
- MARTINS, W., NALINI, L. E. G., MEIRELES, V., MELO, F. R., “Estilos de Aprendizagem em Educação a Distância”. **Anais do X Congresso Internacional de Educação a Distância**, Porto Alegre, 2003.
- MASLOW, A., **Introdução à psicologia do ser**, Rio de Janeiro, Eldorado, 1962.
- MEIRELLES, F. S., **Informática: novas aplicações com microcomputadores**. 2ª Ed., São Paulo, Makron Books, 1994.
- MEIRELES, V., **Sistemas Tutores Inteligentes Híbridos Baseados em Estilos de Aprendizagem**. Dissertação M. Sc., Escola de Engenharia Elétrica e de Computação - UFG. Goiânia, GO, Brasil, Novembro, 2003.
- MELO, F. R., **Sistemas Tutores Inteligentes Híbridos Baseados em Características Psicológicas**, Dissertação M. Sc., Escola de Engenharia Elétrica e de Computação - UFG. Goiânia, GO, Brasil, Novembro, 2003.
- MESSICK, S., et al., **Individuality in Learning**. Jossey Bass. San Francisco, CA, 1976.
- MCCLINTOK, et al., “Facing the Challenge of Technology Integration. A portfolio of

- Processes”, **Student Guide**, Washington, DC, Office of Education Research and Improvement, 1998.
- MOITA, F. M. G. S., **Games: contexto cultura e curricular juvenil**. Tese D. Sc., UFPB, João Pessoa, PB, Brasil, Setembro, 2006.
- MONTAIGNE, M., **Ensaio**. São Paulo, Nova Cultural, 1991.
- MOREIRA, M. A., **Aprendizagem Significativa: A teoria de David Ausubel**. 2ª ed., São Paulo, Centauro, 2006.
- MOSCOVICI, F., **Equipes Dão Certo**. Rio de Janeiro, Editora José Olympio, 1998.
- MUMFORD, A., “Learning style and learning skills”. **Journal of Management Development**, Vol 1, pp55-65, 1982.
- MURRAY, J. H., **Hamlet on the Holodeck: the Future of Narrative in Cyberspace**. Cambridge, MIT Press, 1997.
- NEGROMONTE, N., **Being Digital**. New York: Vintage, 1996.
- NOVAK, J. D., GOWIN, D. B. **Learning How To Learn**. New York, Cambridge University Press, 1984.
- NORVIG, P.; RUSSEL, S., **Inteligência Artificial**. 3ª Ed., Rio de Janeiro, RJ, Elsevier, 2013.
- OAKESHOTT, M. “Learning and teaching.” In: R. S. Peters (Ed.) **The Concept of Education**. London, Routledge & Kegan Paul, 1967.
- O’BRIEN, J., **Sistemas de Informação e as Decisões Gerenciais na Era da Internet**. Ed. Saraiva, São Paulo, 2000.
- ORTEGA, M. e BRAVO, J., “Planificación, Simulación y Colaboración em Educación a distancia.”, **II Jornadas de Informática Educativa**, Santa Cruz de La Sierra, Bolivia. Junho, 1998
- ORLICK, T., **Vencendo a competição**. São Paulo: Círculo do Livro, 1989.
- OWENS, J. D., HOUSTON, M., LUEBKE, D., *et al.*, “GPU Computing”, **Proceedings of the IEEE**, 2008, pp. 879-899.
- PAPERT, S., **The Children’s Machine Rethinking School in the Age of Computer**.

- New York: Basic, 1994.
- PAPERT, S., “Does Easy Do It? Children Games and Learning”, **Game Developer magazine**, pp88-90, Junho, 1998.
- PARK, O., PEREZ, R.S. and SEIDEL, F.J., “Intelligent CAI: Old Wine in New Bottles or a New Vintage?” In: KEARSLEY, G., **Artificial Intelligence and Instruction - Applications and Methods**, Addison-Wesley, Pub., 1987.
- PARK, O., “Functional Characteristics of Intelligent Computer-Assisted Instruction: Intelligent Features”, **Educational Technology**, pp7-14, Junho, 1988.
- PASK, G., SCOTT, B. C. E., “Learning strategies and individual competence”. **International Journal of Man-Machine Studies**, Vol. 4, pp217-253, 1972.
- PATTERSON, D. A., HENNESSY, J. L., **Computer architecture: a quantitative approach**, 5ª Ed., São Francisco, CA, Elsevier, 2014.
- PELIZARI, A., KRIEGL, M. L., BRANDON, M. P., *et al.*, “Teroria da Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel”. **Revista PEC**, Curitiba, N° 1, V.2, pp. 37-42, 2001/2002. Disponível em: <artigo.obrasil.com/teoria-da-aprendizagem-significativa-seg>. Acesso em: 05/04/2017.
- PENFIELD, W., JASPER, H., **Epilepsy and the Functional Anatomy of the Human Brain**. Boston: Ed. Little, Brown and Co., 1959.
- PIAGET, J., **A formação do símbolo na criança: imitação, jogo e sonho imagem e representação**. 3ª Ed., Rio de Janeiro, ZAHAR, 1978.
- PIAGET, J., **Epistemologia genética**. São Paulo, Martins Fontes, 1990.
- PIAGET, J., **Biologia e Conhecimento**. 2ª Ed. Vozes, Petrópolis, 1996.
- POSTMAN, N., **Amusing Ourselves to Death: Public Dirscourse in the Age of Show Business**. New York: Penguin, 1985.
- PRENSKY, M., “**Não me atrapalhe, mãe – Estou aprendendo!**”: **Como os videogames estão preparando nossos filhos para o sucesso no século XXI – e como você pode ajudar!** São Paulo, Phorte, 2010.
- PRENSKY, M., **Aprendizagem baseada em jogos digitais**. São Paulo, Ed. Senac, 2012.

- PURPURA, P.D., “A neuroscience curriculum” In: Marston, R. Q., Jones, R. M. (eds). **Medical Education in transition**, pp58- 66. Princeton, NJ, Robert Wood Johnson Foundation, 1992.
- PURVES, D., AUGUSTINE, G. J., FITZPATRICK, D., KATZ, L. C., La MANTIA, A-S., MCNAMARA, J. O., **Neuroscience**. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 1997.
- RABEY, J. M., CHANDRAKASAN, A., BORIVOJE, N., **Digital Integrated Circuits: A Design Perspective**, 2ª Ed., Prentice Hall, 2003.
- RIGOLON, R. G., OBARA, A. T., “Analogias na ciência e no ensino de ciência.” In: **Anais do II Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, PR, 2010.
- RAMACHANDRAN, V. S., BLACKSLEE, S., **Fantasma no cérebro: uma investigação dos mistérios da mente humana**. Rio de Janeiro/São Paulo, Record, 2004.
- RAMALHO, J. A., **SQL Server 2000**. São Paulo: Berkeley, 2001.
- RILEY, F., (1994), **Understanding IT: A Review of Hypermedia Authoring Packages**. ITTI, University of Hull, 1994. Disponível em: <http://www.keele.ac.uk/depts/cs/Stephen_Bostock/docs/mmauthor.htm>. Acesso em 10/2013.
- RECUERO, R., **Redes sociais na internet**. Porto Alegre, Sulina, 2009.
- ROBBINS, S., **Comportamento organizacional**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
- RODRIGUEZ, E. *et al.* **Jovens y videojuegos**. Madrid, Injuve, 2006.
- ROSENBLATT, F., “The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain”, **Psychological Review**, Vol. 65, 1958.
- RUMELHART, D. E., HINTON, G. E., WILLIAMS, R. J., “Learning internal representation by error propagation” In: **Parallel distributed processing: explorations in the microstructures of cognition**, MIT Press, 1986.
- RYAN, R. M. & DECI, E. L., **Intrinsic motivation and selfdetermination in human behavior**. New York: Plenum, 1985.

- SANT'ANNA, I. M., **Por que avaliar? Como avaliar? : Critérios e instrumentos**. Petrópolis: Vozes, 2001.
- SANTOS, M. R.; VARELA, S., (2007), “A Avaliação como um Instrumento Diagnóstico da Construção do Conhecimento nas Séries Iniciais do Ensino Fundamental”, **Revista Eletrônica de Educação**. Ano I, Nº 01, 2007. Disponível em: <http://moodle2.ead.ifsc.edu.br/pluginfile.php/5956/mod_resource/content/2/instrumento_diagnostico.PDF>. Acesso em: 24/11/2014.
- SAVIANI, D., **Pedagogia Histórica Crítica: primeiras aproximações**. São Paulo, Editora Cortez, 1991.
- SERRANO, D. P., (2010), **Geração Y**. Publicado em: 28/06/2010 <http://www.portaldomarketing.com.br/Artigos3/Geracao_Y.htm>. Acesso em: 12/01/2015.
- SHIYASHIKI, E., (2009), **A geração Z e o mercado de trabalho**. Publicado em 17/09/2009. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/noticias/negocios/a-geracao-z-e-o-mercado-de-trabalho/25973/>>. Acesso em: 12/01/2015.
- SHOHAM, Y., “Agent-oriented Programming”, **Artificial Intelligence**. Berlin, Springer Verlag, Vol. 60, 1993.
- SILVA, M. S., **Construindo sites com CSS e (X)HTML: sites controlados por folhas de estilo em cascata**. São Paulo: Novatec Editora, 2008.
- SILVERMAN, Barry G., “Computer Supported Collaborative Learning (CSCL)”, **Computers & Education**, Vol. 25, n. 3, p. 81-91, 1995
- SKINNER, B. F., **The technology of teaching**. New York, Appleton-Century-Crofts, 1968.
- SKINNER, B. F., **Sobre o Behaviorismo**. Cultrix, São Paulo, 1982.
- SQUIRE, K., “Open-ended video games: a model for developing learning for the interactive age.” In: SALEM, K. **The ecology of games: connecting youth, games and learning**. Cambridge, MA, The MIT Press, 2008.
- STARBUCK, W.H. & WEBSTER, J., “When Is Play Productive?”, In: **Accounting, Management, and Information Technology**, vol. 1, nº 1, pp86-109, 1991.
- TAFNER, M. A. et al., **Redes Neurais Artificiais: Introdução e Princípios de Neurocomputação**, EKO: Ed. da FURB, Blumenau, SC, 1995.

- TAPSCOTT, D., **Growing up Digital: the Rise of the Net Generation**. New York, McGraw-Hill, 1998.
- TAYLOR, R.P., **The computer in school: tutor, toos, tutee**. New York, Teachers College Press, 1980.
- TEPPER, B. et al., “Discriminant and convergent validity of the problem solving style questionnaire”, **Educational and Psychological Measurement**, Vol. 53, pp437-444, 1993.
- THIAGARAJAN, S., “Thiagi Game Letter - Seriously Fun Activities for Trainer's”, **Facilitators & Managers**, vol. 1, nº 1, Setembro, 1998.
- TODD, N., SZOLKOWSKI, M., **JavaServer Pages: o guia do desenvolvedor**, Rio de Janeiro, Elsevier, 2003.
- TROIS, S., SILVA, R. P., (2012), “Desafiando para ensinar: estudo comparativo entre níveis de dificuldade em games educacional e comercial”, **XI SBGames**, Brasília, DF, 2012. Disponível em:
<http://sbgames.org/sbgames2012/proceedings/papers/artedesign/AD_Full12.pdf>.
Acesso em: 15/03/2014.
- VASCONCELOS, K. C. de A. *et al.*, (2010), “A geração Y e suas âncoras de carreira”, **Revista Gestão.Org**, n. 8, v. 2, pp. 226-244, 2010. ISSN 1679-1827. Disponível em:
<<http://www.revista.ufpe.br/gestaoorg/index.php/gestao/article/viewFile/197/178>>.
Acesso em: 20/11/2014.
- VELOSO, E. F.; DUTRA, J.; NAKATA, L., (2008), “Percepções sobre carreiras inteligentes: diferenças entre as gerações Y, X e baby boomers”, **Anais XXXII. Encontro da ENANPAD**, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em:
<http://www.progep.org.br/MelhoresEmpresas/InfoDocs/VELOSO%20E_2008_Percep%C3%A7%C3%A3o%20sobre%20carreiras%20inteligentes_diferen%C3%A7as%20entre%20as%20gera%C3%A7%C3%B5es%20Y,%20X%20e%20baby%20boomers.pdf>
. Acesso em: 20/11/2014.
- VEEN, W., VRAKKING, B., **Homo zappiens: educando na era digital**, Porto Alegre, Artemed, 2009.
- VICCARI, R.M., **Um Tutor Inteligente para a programação em Lógica-Idealização**,

Projeto e Desenvolvimento, Tese D. Sc., Universidade de Coimbra, 1989.

VICCARI, R.M. & GIRAFFA, L.M.M, “Sistemas Tutores Inteligentes: Abordagem Tradicional vrs. Abordagem de Agentes”. **XII Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial**. Curitiba. Outubro, 1996.

VYGOTSKY, L. S., **A Formação Social da Mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

VISHNU, K. L. *et al.* “An Instrument for Assessing Knowledge Gain in a First Course in Circuit Theory”, **American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition**, Department of Electrical and Computer Engineering, Old Dominion University, Norfolk, VA, 2002.

WITKIN, H. A., “Cognitive style in academic performance and in teacher-student relations”. **Individuality in Learning** (Eds. S. Messick et al.), Jossey-Bass, CA, pp38-72, 1976.

WIDROW, B. and HOFF, M.E., “Adaptive switching circuits”, **Western Electronic Show and Convention Record**, pp96-104, Institute of Radio Engineers, Universidade de Stanford, 1960.

YELLE, L. E., “The learning curve: Historical review and comprehensive survey” **Decision Sciences**, Vol. 10, n. 2, pp302–328, 1979.

ZANON, D. A. V., GUERREIRO, M. A. S., OLIVEIRA, R. C., (2008), “Jogo didático ludo químico para o ensino de nomenclatura dos compostos orgânicos: projeto, produção, aplicação e avaliação”. **Ciências & Cognição**, Vol. 13, n. 1, p. 72-81, março 2008. Disponível em:

<<http://www.cienciasecognicao.org/revista/index.php/cec/article/view/690/467>>.

Acesso em 15/03/2014.

Apêndice 1: Pesquisa Preliminar

Neste Apêndice é apresentada a estrutura da enquete preliminar cujos resultados foram comentados no Capítulo 8 do presente trabalho. Vale ressaltar que a ferramenta utilizada foi desenvolvida por terceiros. É um aplicativo pago que funciona dentro de uma rede social, aproveitando sua estrutura, porém não faz parte da mesma ferramenta. Além dos resultados em tela, o aplicativo permite que os dados da pesquisa sejam baixados para posterior tratamento (através de planilha eletrônica).

A seguir são mostradas as telas apresentadas aos participantes.

<p>Tela inicial - apresentação</p>  <p>Aprendizagem através de jogos digitais</p> <p>Esta enquete é parte de uma pesquisa que diz respeito à educação através de jogos digitais.</p> <p>Observa-se que nas últimas décadas os educadores têm enfrentado inúmeras dificuldades na adequação da docência às mudanças da sociedade. Assim como os objetivos traçados para o processo de ensino e aprendizagem mudaram, além de fornecer aos alunos conhecimentos que os permitam atuar na sociedade de maneira crítica e responsável, as atividades de ensino necessitam acompanhar essas mudanças para que efetivamente conduzam os aprendizes aos objetivos traçados.</p> <p>Dado que os jogos digitais atuais, tem as mesmas características (imagens e sons vibrantes, contexto envolvente...) que tem prendido a atenção, em especial, dos mais jovens, questiona-se:</p> <p>Iniciar</p> <p>Fornecido por Enquetes para Facebook</p> <p>Esta enquete não é de forma alguma patrocinada ou administrada pelo Facebook. As informações fornecidas serão usadas apenas para os propósitos desta enquete.</p>
<p>Telas com as questões</p>  <p>Aprendizagem através de jogos digitais</p> <p>1) Você joga ou já jogou videogames (jogos digitais)?* (Selecione uma das opções abaixo)</p> <p><input type="radio"/> a) sim</p> <p><input type="radio"/> b) não</p> <p>Continuar</p> <p>Pergunta 1 / 10 0%</p>

Aprendizagem através de jogos digitais

2) Você acredita que jogos digitais, se bem elaborados e contextualizados, podem ser utilizados em educação/treinamentos?*

(Selecione uma das opções abaixo)

- a) sim
- b) não

Continuar

Pergunta 2

10%

Aprendizagem através de jogos digitais

3) Se você já jogou videogames, acredita ter aprendido alguma habilidade com eles?*

(Selecione uma das opções abaixo)

- a) sim
- b) não
- c) nunca joguei

Continuar

Pergunta 3 / 10

20%

Aprendizagem através de jogos digitais

4) Você gosta do sistema tradicional de ensino (exposição-avaliação)?*

(Selecione uma das opções abaixo)

- a) sim
- b) não

Continuar

Pergunta 4 / 10

30%

Aprendizagem através de jogos digitais

5) Em um curso, você consegue manter o foco o tempo inteiro, sem que ocorra eventuais devaneios (fruto de preocupações do dia-a-dia, distrações ou qualquer outro motivo)?*

(Selecione uma das opções abaixo)

- a) sim, completamente focado
- b) não, eventualmente perco o foco

Continuar

Pergunta 5 / 10

40%

Aprendizagem através de jogos digitais

6) Em treinamentos/cursos, quando lhe apresentam um exercício muito complexo você:*

(Selecione uma das opções abaixo)

- a) tenta, mesmo errando várias vezes até acertar
- b) tenta, algumas vezes e se continuar errando deixa para depois
- c) tenta, mas se continuar errando perde o interesse
- d) tenta, mas se errar logo procura ajuda

Continuar

Pergunta 6 / 10

50%

Aprendizagem através de jogos digitais

7) Em treinamento/cursos quando o instrutor/professor está apresentando conteúdo, você tem preferência por:*

(Selecione uma das opções abaixo)

- a) ler o material impresso referente ao conteúdo
- b) que o instrutor apresente um texto seguido da explicação
- c) apresentação de filmes correlacionados com o tema do curso/treinamento
- d) uso de atividades práticas ou dinâmicas que reforçam o conteúdo

Continuar

Pergunta 7 / 10

60%

Aprendizagem através de jogos digitais

8) Como você vê o um jogo (cartas, tabuleiro ou jogos digitais)?*

(leia com atenção todas as resposta e selecione a que mais lhe agrada)

- a) como entretenimento
- b) como uma atividade que pode ensinar sobre seguir regras
- c) como uma atividade que pode ensinar habilidades
- d) como uma atividade que pode ensinar conteúdos
- e) como uma atividade social
- f) todas as opções anteriores

Continuar

Pergunta 8 / 10

70%

Aprendizagem através de jogos digitais

9) Você gosta de jogos digitais?*

(Selecione uma das opções abaixo)

a) sim

b) não

Continuar

Pergunta 9 / 10

80%

Aprendizagem através de jogos digitais

10) Em um jogo digital, quando uma fase é muito difícil, você:*

a) não sou adepto de jogos digitais

b) jogo até passar a fase

c) tento algumas vezes depois tento reduzir o nível de dificuldade

d) logo desisto e procuro outro jogo

Continuar

Pergunta 10 / 10

90%

Aprendizagem através de jogos digitais

Obrigado por sua participação em nossa enquete. Ajude-nos compartilhando-a com seus amigos.

 Compartilhar em seu mural

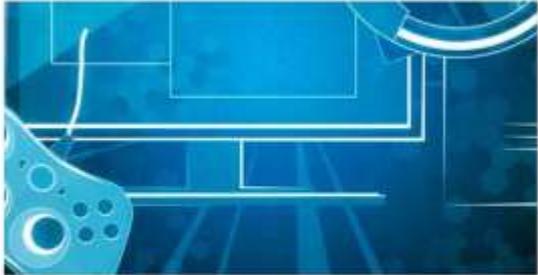
 Convidar amigos

 Compartilhar por e-mail

Compartilhamentos por parte dos participantes

 **Kelly Cali**
Agora mesmo · 🌐

Quem puder responde o questionário! É bem rápido!



Aprendizagem através de jogos digitais
Esta enquete é parte de uma pesquisa a respeito de educação através de jogos digitais. Observa-se que nas últimas décadas os educadores têm enfrentado inúmeras dificuldades na adequação da docência às mudanças da sociedade...
APPS.FACEBOOK.COM

Curir · Comentar · Compartilhar

 **Marco Borges** shared an enquete on Enquete.
19 de fevereiro · 🌐

da uma força aí galera...



Aprendizagem através de jogos digitais (apenas 10 questões)
Esta enquete é parte de uma pesquisa a respeito de educação através de jogos digitais. Observa-se que nas últimas décadas os educadores têm enfrentado...
ENQUETE

Curir · Comentar · Compartilhar

 Jefferson Athayde Jr e outras 2 pessoas curtem isso.

Apêndice 2: Estilos de Aprendizagem

O Questionário de Estilos de Aprendizagem desenvolvido por Bárbara A. Soloman e Richard M. Felder da Universidade do Estado da Carolina do Norte está disponível no endereço <http://www.ncsu.edu/felder-public/ILSpage.html>. O questionário foi traduzido por Lauro Eugênio Guimarães Nalini, Doutor em Psicologia pela Universidade de Brasília, Brasil. Professor do Departamento de Psicologia, Centro de Ciências Humanas, Universidade Católica de Goiás.

Questionário de Estilos de Aprendizagem

Richard M. Felder

Selecione "a" ou "b" para indicar sua resposta para cada uma das 44 perguntas abaixo. Por favor, escolha somente uma resposta para cada pergunta. Se ambos "a" e "b" se aplicam a você, escolha a opção que se aplica mais frequentemente.

1-Eu compreendo alguma coisa melhor depois que

- a) tento fazê-la.
- b) penso sobre ela.

2-Eu poderia ser melhor considerado

- a) realista.
- b) inovador.

3-Quando penso no que fiz ontem, mais provavelmente minha lembrança vem como:

- a) uma figura.
- b) palavras.

4-Minha tendência

- a) é entender os detalhes de um assunto, mas posso ficar confuso sobre sua estrutura global.
- b) é entender a estrutura global de um assunto, mas posso ficar confuso com os seus detalhes.

5-Quando estou aprendendo alguma coisa nova, me ajuda

- a) falar sobre ela.
- b) pensar sobre ela.

6-Se eu fosse um professor, preferiria dar um curso:

- a) que lida com fatos e situações da vida real.
- b) que lida com ideias e teorias.

7-Eu prefiro obter nova informação em forma de:

- a) gravuras, diagramas, gráficos ou mapas.
- b) instruções escritas ou informação verbal.

8-Uma vez que eu tenha compreendido:

- a) todas as partes, eu compreendo a coisa toda.
- b) a coisa toda, eu compreendo como as partes se encaixam.

9-Num estudo de grupo sobre um assunto difícil, eu mais provavelmente:

- a) me atiro no tema e contribuo com ideias.
- b) me sento reclinado e escuto.

10-Eu acho que é mais fácil:

- a) aprender fatos.
- b) aprender conceitos.

11-Em um livro com muitas figuras e gráficos, eu provavelmente:

- a) olho as gravuras e gráficos cuidadosamente.
- b) foco no texto escrito.

12-Quando soluciono problemas de matemática:

- a) eu usualmente trabalho do meu modo, buscando as soluções um passo de cada vez.
- b) eu freqüentemente apenas vejo as soluções, mas, então, tenho que me esforçar para imaginar os passos para alcançá-las.

13-Em aulas que tenho tido:

- a) eu usualmente tenho procurado conhecer muitos dos colegas.
- b) eu raramente tenho procurado conhecer muitos dos colegas.

14- Se vou ler não-ficção, eu prefiro:

- a) alguma coisa que me ensine novos fatos ou me diga como fazer alguma coisa.
- b) alguma coisa que me dê novas ideias para pensar.

15-Eu gosto de professores:

- a) que colocam muitos diagramas no quadro.
- b) que gastam muito tempo explicando.

16-Quando eu estou analisando uma história ou uma novela:

- a) eu penso nos incidentes e tento juntá-los para imaginar os enredos.
- b) eu só vou saber o que são os enredos quando eu termino a leitura e, então, volto e os incidentes que os demonstram.

17-Quando eu começo um problema do dever de casa, eu mais provavelmente:

- a) começo trabalhando na solução imediatamente.
- b) tento primeiro compreender o problema completamente.

18-Eu prefiro a idéia de:

- a) certeza.
- b) teoria.

19-Eu recordo melhor:

- a) o que eu vejo.
- b) o que eu escuto.

20-Para mim, é mais importante que um instrutor:

- a) prepare o material numa seqüência clara de passos.
- b) dê-me uma visão global e relacione o material a outros assuntos.

21-Eu prefiro estudar:

- a) num grupo de estudo.
- b) sozinho.

22-Mais provavelmente, eu sou considerado:

- a) cuidadoso com os detalhes de meu trabalho.
- b) criativo ao fazer meu trabalho.

23-Eu prefiro obter orientações sobre um novo lugar por meio de:

- a) um mapa.
- b) instruções escritas.

24-Eu aprendo:

- a) num compasso marcadamente regular. Se eu estudar com afinco, eu aprenderei.
- b) aos trancos. Eu fico totalmente confuso e, então, a coisa toda se “ilumina”.

25-Eu preferiria primeiro:

- a) tentar fazer as coisas.
- b) pensar sobre como eu iria fazê-las.

26-Quando estou lendo por diversão, eu gosto que os escritores:

- a) digam claramente o que eles querem dizer.
- b) digam coisas de modos interessantes, criativos.

27-Tendo eu visto um diagrama ou um desenho em sala, mais provavelmente eu recordarei:

- a) o diagrama.
- b) o que o professor disse sobre o diagrama.

28-Ao considerar um conjunto de informações, mais provavelmente eu:

- a) presto atenção nos detalhes e perco o quadro maior.
- b) tento compreender o quadro maior antes de ir aos detalhes.

29-Eu recordo mais facilmente:

- a) alguma coisa que eu tenha feito.
- b) alguma coisa que eu tenha pensado muito.

30-Quando eu tenho que realizar uma tarefa, eu prefiro:

- a) dominar um modo de fazê-la.
- b) implementar novos modos de fazê-la.

31-Quando alguém me mostra dados, eu prefiro:

- a) tabelas ou gráficos.
- b) texto resumindo os resultados.

32-Ao escrever um artigo, eu mais provavelmente:

- a) trabalho (penso sobre ou escrevo) do começo do artigo e progrido adiante até o final.
- b) trabalho (penso sobre ou escrevo) diferentes partes do artigo e, então, as ordeno.

33-Quando eu tenho que trabalhar num projeto de equipe, eu quero primeiramente:

- a) passar por uma dinâmica tipo “tempestade cerebral” onde todos contribuíram com ideias.
- b) ter a minha “tempestade cerebral” individualmente e, então me agrupar para comparar ideias.

34-Eu considero como o mais alto elogio chamar alguém de:

- a) sensato.
- b) imaginativo.

35-Tendo encontrado pessoas numa festa, mais provavelmente recordarei o que:

- a) elas usavam.
- b) elas disseram sobre elas mesmas.

36-Quando estou aprendendo um novo assunto, eu prefiro:

- a) manter o foco naquele assunto, aprendendo o máximo que eu puder sobre ele.
- b) tentar fazer conexões entre aquele assunto e assuntos relacionados.

37-Mais provavelmente, eu sou considerado:

- a) atirado.
- b) reservado.

38-Eu prefiro cursos que enfatizam:

- a) material concreto (fatos, dados).
- b) material abstrato (conceitos, teorias).

39-Para me divertir, eu prefiro:

- a) assistir televisão.
- b) ler um livro.

40-Alguns professores começam suas conferências com um esboço do que eles cobrirão. Tais esboços são:

- a) úteis para mim.
- b) muito úteis para mim.

41-A idéia de fazer tarefa de casa em grupo, quando será dada uma mesma nota para o grupo inteiro:

- a) me interessa.
- b) não me interessa.

42-Quando estou fazendo cálculos longos:

- a) tendo a repetir todos meus passos e checar meu trabalho cuidadosamente.
- b) eu acho enfadonho checar meu trabalho e me forço a fazer isto.

43-Eu tenho tendência a descrever lugares que tenha estado:

- a) de modo fácil e com precisão acurada.
- b) com dificuldade e sem muito detalhe.

44-Quando resolvo problemas em um grupo, eu mais provavelmente poderia estar:

- a) pensando em passos do processo de solução.
- b) pensando nas consequências possíveis ou aplicações da solução em uma série vasta de áreas.

Avaliação dos Resultados

1. Coloque "1"s nos espaços apropriados na tabela abaixo (se você respondeu "a" para a Questão 3, coloque "1" na Coluna "a" da Questão 3).
2. Totalize as colunas e escreva os totais nos espaços indicados.
3. Para cada das 4 escalas, subtraia o menor total do maior. Escreva a diferença (1 para 11) e a letra (a ou b) com o maior total.

Por exemplo, se abaixo "ACT/REF" você tiver 4 "a" e 7 "b" como respostas, você escreveria "3b" na linha inferior abaixo do título (3 = 7- 4, e o total de "b" for maior que os dois).

ACT/REF			SEN/INT			VIS/VRB			SEQ/GLO		
Q	a	b	Q	a	b	Q	a	b	Q	a	b
1	__	__	2	__	__	3	__	__	4	__	__
5	__	__	6	__	__	7	__	__	8	__	__
9	__	__	10	__	__	11	__	__	12	__	__
13	__	__	14	__	__	15	__	__	16	__	__
17	__	__	18	__	__	19	__	__	20	__	__
21	__	__	22	__	__	23	__	__	24	__	__
25	__	__	26	__	__	27	__	__	28	__	__
29	__	__	30	__	__	31	__	__	32	__	__
33	__	__	34	__	__	35	__	__	36	__	__
37	__	__	38	__	__	39	__	__	40	__	__
41	__	__	42	__	__	43	__	__	44	__	__
Total (soma X's em cada coluna)											
ACT/REF			SEN/INT			VIS/VRB			SEQ/GLO		
a	b		a	b		a	B		a	b	
_____	_____		_____	_____		_____	_____		_____	_____	
(Maior - Menor) + Maior Letra (veja abaixo*)											
_____			_____			_____			_____		

*Exemplo: Se você totalizar 3 para a e 8 para b, você terá 5b.

Explicação dos Resultados

- Se o seu resultado na escala é 1-3, você tem uma leve preferência por uma ou outra dimensão, mas você está essencialmente equilibrado (Por exemplo, um 3a na categoria ACT/REF indica uma leve preferência por uma aprendizagem ativa).
- Se o seu resultado na escala é 5-7, você tem uma preferência moderada por uma dimensão da escala e irá aprender mais facilmente em um ambiente de ensino que favoreça esta dimensão.
- Se o seu resultado na escala é 9-11, você tem uma forte preferência por uma dimensão da escala. Você pode ter uma real dificuldade de aprendizagem em um ambiente que não suporte esta preferência.

Apêndice 3: Teste de Belbin

INVENTÁRIO DE AUTOAVALIAÇÃO PARA TRABALHOS EM EQUIPES Baseado na Teoria de Meredith Belbin

(referenciada no Capítulo 3, Seção 3.4)

Há 07 (sete) seções neste questionário. Para cada seção distribua um total de 10 (dez) pontos entre as afirmativas que você acredita que descreva mais precisamente seu comportamento e pensamento. Você deverá distribuir estes pontos entre as diversas afirmativas; em caso extremo você poderá aplicar 01 (um) ponto para cada afirmativa ou você poderá dar todos os 10 (dez) pontos para apenas uma afirmativa. Não existem respostas “certas” ou “erradas”.

I – Creio que possa colaborar para um trabalho em equipe da seguinte forma:

A	Enxergo facilmente novas oportunidades bem como as aproveito.	
B	Meus comentários tanto gerais quanto específicos são bem recebidos pela equipe.	
C	Gosto de trabalhar com um grande número de pessoas.	
D	A geração de ideias é um dos meus pontos fortes.	
E	Sou bom em identificar o valor da contribuição de cada pessoa para o alcance do objetivo.	
F	As pessoas sabem que as tarefas que assumo serão concluídas.	
G	Considero minha experiência e conhecimento técnico meus pontos mais fortes.	
H	Sou bastante rígido e rigoroso quando preciso fazer com que as coisas aconteçam.	
I	Tenho a capacidade de ver se uma ideia ou plano se aplica a um determinado problema.	
J	Consigo oferecer opções racionais e não tendenciosas para resolução de problemas.	

II – Se tenho alguma falha no trabalho em equipe, isso quer dizer que eu:

A	Não fico muito à vontade a não ser que as reuniões sejam bem estruturadas e bem conduzidas.	
B	Geralmente sou generoso demais com aqueles que externam um ponto de vista válido, porém não muito claro.	
C	Reluto em contribuir, a menos que eu conheça muito bem o assunto em discussão.	
D	Tenho uma tendência a falar bastante quando surge um novo assunto nas reuniões da equipe.	
E	Tendo a subestimar a importância de minhas próprias contribuições.	
F	Minha ânsia em busca de resultados atrapalha o meu relacionamento com colegas.	
G	Às vezes sou visto como autoritário quando lido com assuntos importantes.	
H	Sinto dificuldades em liderar um projeto talvez porque me sinta super-responsável por um ambiente harmonioso na equipe.	
I	Fico tão envolvido com as ideias que estou tendo que perco a noção do que está acontecendo.	
J	Reluto em expressar minha opinião para propostas ou planos que estejam incompletos ou insuficientemente detalhados.	

III – Quando estou envolvido em um projeto com outras pessoas:

A	Eu consigo influenciar as pessoas sem fazer pressão sobre elas.	
B	Eu geralmente sou eficiente em prevenir erros e omissões que impactariam no sucesso da operação.	
C	Eu gosto de chamar a atenção dos membros da equipe para que o grupo não perca tempo ou perca de vista o objetivo principal.	
D	Eu normalmente contribuo com ideias originais.	
E	Eu estou sempre disposto a sugerir algo visando ao interesse comum.	
F	As pessoas podem estar certas de que serei o mais natural possível.	
G	Eu sou ágil em enxergar a possibilidade de novas ideias e novos empreendimentos.	
H	Eu tento manter meu senso de profissionalismo.	
I	Eu creio que minha capacidade de julgamento ajuda a escolher as decisões corretas.	
J	As pessoas podem confiar na minha capacidade de organizar o trabalho.	

IV – Minha forma de abordagem em relação ao grupo é a seguinte:

A	Eu tenho interesse em conhecer melhor meus colegas.	
B	Eu contribuo quando sei do que estou falando.	
C	Eu não reluto em questionar as opiniões dos outros nem de defender as minhas ideias.	
D	Eu geralmente consigo achar um argumento para refutar proposições sem fundamento.	
E	Eu creio que tenho talento para implementar algo desde que haja um plano a ser colocado em prática.	
F	Eu prefiro evitar o óbvio e buscar ideias ainda não exploradas.	
G	Eu trago um toque de perfeccionismo para qualquer trabalho que eu desempenhe.	
H	Eu sou aquele que geralmente faz contatos com pessoas fora do grupo.	
I	Eu gosto do lado social das relações de trabalho.	
J	Eu não hesito em mudar de ideia se o grupo optar por uma decisão diferente da que defendo.	

V – Eu tenho satisfação em um trabalho, pois:

A	Eu gosto de analisar situações e decidir diante das opções possíveis.	
B	Eu me interesso em achar soluções práticas para os problemas.	
C	Eu me sinto bem quando estou criando bons relacionamentos.	
D	Eu tenho uma forte influência nas decisões da equipe.	
E	Eu tenho oportunidades de conhecer novas pessoas com ideias distintas.	
F	Eu faço com que as pessoas concordem com as prioridades e objetivos.	
G	Eu me realizo quando posso dedicar minha total atenção à tarefa.	
H	Eu consigo achar oportunidades de expandir minha imaginação.	
I	Eu sinto que estou usando minhas qualificações e habilidades como vantagem.	
J	Eu normalmente acho um trabalho que me dê a chance de me expressar.	

VI – Se me passarem uma tarefa difícil, repentinamente, com tempo limitado e pessoas desconhecidas:

A	Eu normalmente obtenho sucesso apesar das circunstâncias.	
B	Eu gosto de ler o máximo possível sobre o assunto da tarefa.	
C	Eu gosto de elaborar a solução sozinho para depois vender a ideia ao grupo.	
D	Eu estaria pronto para trabalhar com pessoas que mostrassem atitudes mais positivas.	
E	Eu acharia uma forma de reduzir o tamanho da tarefa, estabelecendo como cada pessoa poderia melhor contribuir para sua execução.	
F	Meu senso natural de urgência ajudaria a garantir que não haveria atrasos.	
G	Eu creio que permaneceria tranquilo e manteria minha capacidade de pensar	

	objetivamente.	
H	Apesar de gerar conflitos, eu faria pressão para realizar o que fosse necessário.	
I	Eu tomaria à frente dos trabalhos, caso o grupo não estivesse apresentando progressos.	
J	Eu motivaria o debate com o objetivo de estimular novas ideias e para dar continuidade ao trabalho.	

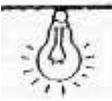
VII – No tocante aos problemas vivenciados quando trabalho em grupo:

A	Estou pronto a reagir quando as pessoas impedem o progresso do trabalho	
B	Algumas pessoas me criticam por ser muito racional.	
C	Meu desejo de atentar para os detalhes importantes do trabalho nem sempre é bem vindo pelo grupo.	
D	Eu tendo a demonstrar tédio se eu não estiver ativamente engajado em um grupo bem motivado.	
E	Eu acho difícil começar uma atividade se os objetivos não forem claros.	
F	Às vezes tenho dificuldade em expor assuntos complexos.	
G	Eu tenho consciência de que eu delego aos outros as coisas que eu não posso realizar.	
H	Eu acho que os outros não me dão oportunidade suficiente para dizer tudo que quero dizer.	
I	Eu sinto que às vezes que eu estou desperdiçando meu tempo com o grupo e poderia executar melhor o trabalho sozinho.	
J	Eu hesito em expressar minha opinião na frente de pessoas difíceis e poderosas.	

Contagem de acordo com as questões:

Q	PERFIL									
	IM	CO	SH	PL	RI	ME	TW	CF	SP	
I	G	D	F	C	A	I	B	E	J	
II	A	B	E	I	J	D	F	H	C	
III	H	A	C	D	F	G	E	B	J	
IV	J	H	B	E	G	C	I	F	D	
V	B	F	D	H	J	A	C	G	I	
VI	F	C	G	A	H	E	J	I	B	
VII	E	G	A	F	D	B	H	C	I	
TOT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Características e Funções dos Papéis Desempenhados em Trabalhos de Equipes:



PLANTS – PL (Pensador)

Características: São inovadores e inventores e podem ser altamente criativos. Ele é a fonte da originalidade, o elemento criativo que é essencial para o sucesso. Com tendência a ser introvertido, o pensador é sério e idealista. Independente e visionário com uma boa imaginação, prefere trabalhar sozinho e com grande concentração.

Por outro lado, o pensador pode precisar que alguém coloque seus pés no chão. Nem sempre consegue divulgar suas ideias e distrai-se facilmente nas atividades da equipe devido a sua necessidade de concentração e introspecção.

Função: O papel principal de um PL é gerar novas propostas e resolver problemas complexos. São geralmente necessários no estágio inicial de um projeto ou quando um projeto não está progredindo. Geralmente imprimem sua marca como fundadores de empresas ou como geradores de novos produtos. Muitos PL's em um grupo, contudo, podem ser contraproducentes, já que eles tendem a gastar seu tempo reforçando suas próprias ideias e em combate uns com os outros.



RESOURCE INVESTIGATOR – RI (Investigador de Recursos)

Características: Fonte criativa, porém com caráter bastante diferente do anterior.

O investigador de recursos é uma pessoa extrovertida, articuladora e cheia de recursos com uma forte atração por desafios. Esta é a pessoa que ultrapassa as fronteiras da equipe em busca de recursos – cheia de energia. Amigável e comunicativo, ele está por dentro de diferentes assuntos e conhece pessoas dentro e fora da organização. Ele adora negociar e argumentar. Por outro lado, os RI's podem ficar desestimulados assim que as novidades acabarem. Querem sempre estar fazendo algo novo diferente do último trabalho completado. Eles muitas vezes são difíceis de serem encontrados, porque estão sempre ocupados em busca de encontrar e aproveitar uma boa oportunidade.

Função: RI's são bons em explorar e desenvolver ideias e buscar recursos fora do grupo. Eles são os melhores membros do grupo para estabelecer contatos externos e executar possíveis negociações.



CO-ORDINATORS – CO (Coordenador)

Características: A característica que distingue o coordenador dos outros papéis é sua habilidade em motivar os outros a trabalharem em busca de um objetivo comum. Controlador da equipe, ele tem tendência à introversão, porém com capacidade de direcionar os outros a um propósito comum. É uma pessoa preocupada com o lado pessoal do grupo e com o engajamento de todos na tarefa a ser desempenhada, além de garantir que todos sejam igualmente considerados importantes. São confiáveis e compreensivos, dirigidos por valores que são colocados de forma gentil. Eles reconhecem os talentos pessoais e tentam mostrá-los a equipe. Além disso, possuem grande habilidade em resolver conflitos.

Por outro lado, a equipe pode depositar demasiada confiança sobre ele e sobrecarregá-lo. O Coordenador pode passar o tempo todo tentando satisfazer as pessoas o que é algo um tanto complicado.

Função: Coordenadores são bem aproveitados quando tem como tarefa liderar uma equipe com distintas habilidades e características pessoais. Eles desempenham melhor este papel quando lidam com colegas de mesmo nível hierárquico do que com subordinados. Seu lema é “consulta com controle” e eles normalmente acreditam em resolver os problemas calmamente. Em algumas equipes

eles tendem a bater de frente com os Shapers (Articuladores) devido aos distintos estilos de gestão.



SHAPERS – SH (Articulador)

Características: Se o coordenador é o controlador da equipe, o Shaper é o ditador. Ele é orientado à tarefa e preparado para mover montanhas para atingir seus objetivos. Além de ser extrovertido, desafiador, direto e franco. O grande benefício deste membro da equipe é motivar pessoas em torno de um objetivo comum. Pode ser também persuasivo e preparado para negociar e assumir compromissos a fim de garantir o andamento das atividades.

Por outro lado, pode ofender as pessoas. De forma rápida, pode esquecer de dar as devidas explicações, pode se tornar impaciente e ditador. Se não for bastante ágil, a falta de planejamento pode resultar em problemas. O que quer que aconteça, trabalhar com o Shaper, é divertido.

Função: SH's geralmente são bons gerentes porque eles produzem ações e eles têm sucesso mesmo sob pressão. Eles são excelentes em injetar vida nas equipes e são muito úteis onde complicações políticas tendem a reduzir o progresso dos trabalhos; SH's tendem a levantar os problemas e tomar a dianteira dos trabalhos. Este papel cai bem àqueles que precisam fazer mudanças necessárias e não se importam em tomar decisões impopulares. Como o nome indica, eles tentam impor um padrão às atividades e discussões do grupo.



MONITOR EVALUATOR – ME (Analista)

Características: Personalidade reservada com ar de calma e estabilidade. É o pensador quieto e analítico. Não são produtores de grandes ideias, mas gostam de ter tempo para analisar questões a fundo. Estas são as pessoas que vão manter os pés da equipe no chão. Vão identificar problemas potenciais, mas não necessariamente suas soluções. Este é o membro da equipe com uma vasta memória de todos os aspectos do projeto. Um bom ME está raramente errado.

Por outro lado, pode não ter um enfoque claro e retardar o andamento da equipe a fim de evitar certos riscos. Não gostam de riscos. Podem levar muito tempo em suas considerações e perder de vista os objetivos finais.

Função: ME's são melhor indicados para analisar problemas e avaliar idéias e sugestões. Eles são muito bons para equilibrar os custos e benefícios das opções. Para muitos que estão fora da equipe, o ME pode aparentar ser áspero, enfadonho, ou mesmo muito crítico. Muitos MEs ocupam postos estratégi-

cos e prosperam exercendo tarefas de alto nível. O trabalho ideal para um ME é aquele que seu sucesso ou fracasso depende em um pequeno número de decisões críticas.



TEAM WORKERS – TW (Facilitador)

Características: O TW é o membro mais leal da equipe. Está preocupado com a harmonia e os bons relacionamentos dentro da equipe. Extrovertido, está preparado para cooperar e buscar novas táticas. Eles têm uma grande capacidade para flexibilidade e adaptação a diferentes situações e pessoas. Respeita os outros e dá a devida atenção à comunicação de planos, ideias e sentimentos dentro da equipe. Uma excelente pessoa para elevar o espírito da equipe.

Por outro lado, os TW's podem não ser decisivos e focados o suficiente para controlar a execução de uma tarefa. Tentam evitar conflito e escondem problemas debaixo do tapete ao invés de enfrentá-los. Costumam assumir que conhecem bem o que é melhor para os outros membros da equipe e podem se tornar desagradáveis – excessivamente educados e cuidadosos. ('smothering').

Função: O papel do TW é prevenir problemas interpessoais que surgem dentro de um trabalho em equipe e, portanto, fazer com que todos os membros da equipe contribuam efetivamente. Sem gostar de fricções, eles vão aos extremos para evitar isto. Não é incomum para os TWs se tornarem gerentes seniores especialmente se a gerência média é dominada por Shapers (Articuladores). Isto cria um clima em que as habilidades sensitivas e diplomáticas de um TW se tornam um verdadeiro ativo, especialmente sob um regime gerencial onde surgem conflitos ou precisam ser artificialmente suprimidos. Gerentes TW não são vistos como ameaças e, portanto os mais aceitos e desejados moral do grupo é melhor e as pessoas parecem cooperar melhor quando os TW's participam de um grupo.



IMPLEMENTERS – IM (Implementador)

Características: Os implementadores têm um senso prático de lidar com problemas e desafios, além de dispor de um bom autocontrole e disciplina. Como líder, o implementador tende a ser extrovertido, mas gosta de ter uma estrutura organizada para trabalhar. Este é o planejador lógico, a pessoa que transforma as ideias e as estratégias em planos de trabalho. Esta é a pessoa que coleta os recursos certos na hora e no local certo. Leal e organizado, prefere a ordem tradicional hierárquica. Provê a estabilidade necessária em uma equipe.

Por outro lado, podem ser inflexíveis. Mudanças bruscas ou oportunidades inesperadas podem deixá-los insatisfeitos. Eles podem também não ser tão amigáveis e não mostrar apreciação pelo trabalho dos outros.

Função: IM's são úteis para um grupo por sua confiabilidade e capacidade para implementação. Eles são bem sucedidos porque são eficientes e porque eles têm percepção para aquilo que é exequível e relevante. Eles só realizam as tarefas que querem fazer e evitam aquelas que eles acreditam ser desinteres-

santes. Por outro lado, um IM fará o que precisa ser feito. Bons IM's geralmente progredem ao alto gerenciamento pela qualidade de suas habilidades de organização e competência em lidar com as tarefas necessárias.



COMPLETER FINISHERS – CF (Realizador)

Características: Realizadores têm uma grande capacidade para acompanhamento de atividades e projetos e atenção aos detalhes. Eles são improváveis de começar algo que não sabem como poderão concluir. Estas são as pessoas que consideram como falha o fato de não conseguir entregar um trabalho no tempo previsto. Introversos, estes membros de equipe são cuidadosos e super esforçados até mesmo com os detalhes. Pensadores podem ter ideias maravilhosas, Shapers podem vendê-las de forma adequada, mas não têm a mesma habilidade que os realizadores para concretizá-las. Gostam da abordagem tradicional, hierárquica e de ordem e organização.

Por outro lado, quando um pensador apresenta uma ideia brilhante, o realizador pode ignorá-la ou rejeitá-la – todos os esforços devem estar concentrados na concretização da tarefa, deixando de lado quaisquer inovações que possam atrapalhar o andamento das atividades. Podem ignorar as implicações a longo prazo em favor da ordem do dia e ignorar relações interpessoais.

Função: CF's são valorizados onde as tarefas demandam alta concentração e alto grau de precisão. Os Realizadores criam um senso de urgência na equipe e são bons cumpridores de etapas. Em gestão eles sobressaem pelo alto padrão que normalmente aspiram e pela preocupação com a precisão e o detalhe.



SPECIALIST – SP (Especialista)

Características: Os especialistas são indivíduos dedicados que têm orgulho em possuir o conhecimento técnico e as habilidades técnicas. Suas prioridades são manter o alto padrão profissional e defender sua área de concentração. É a pessoa certa a ser consultada sobre assuntos específicos do trabalho que está sendo desenvolvido. Geralmente introverso, como o pensador, está sempre atento a detalhes de seu domínio de conhecimento, querendo saber mais e mais para aplicá-lo de forma coerente. Membro confiável e suporte essencial para a equipe.

Por outro lado, podem não mostrar nenhum interesse pela tarefa geral que está sendo desenvolvida. Podem não opinar ou contribuir com assuntos não vinculados diretamente à sua especialidade ou grande área de interesse.

Função: SP's tem um papel indispensável a desempenhar em algumas equipes. Eles detêm a habilidade para desenvolver o trabalho. Como gerentes, eles dão suporte, pois eles conhecem mais sobre o assunto que qualquer um outro e podem geralmente ser chamados a tomar decisões baseados em sua larga experiência.



Apêndice 4: Informações Complementares

Esse Apêndice contém um material complementar ao Capítulo 8 (Sistema Proposto). Foi criado com o objetivo de não poluir o referido capítulo com materiais visuais e que atrapalhariam o fluxo de leitura.

▪ MUDANÇA DE CONFIGURAÇÃO PARA O DOWNLOAD DO JOGO

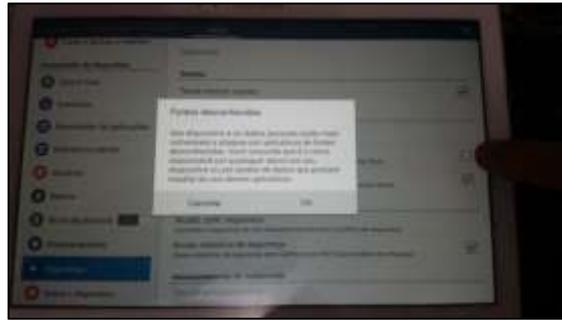
Observação: As informações abaixo foram disponibilizadas em material no formato “PDF” como instrução de procedimentos para a instalação do jogo.

As informações a seguir são instruções para a obtenção e instalação do jogo. Como fora explicado anteriormente, trata-se de um experimento científico e, por isso, exige controle de acesso. Além disso, necessita dos dados obtidos no processo de cadastro. Por estas razões não foi disponibilizado ao grande público na *Play Store*. Siga atentamente o passo-a-passo apresentado a seguir:

- 1) Abrir Configurações>Geral>Segurança;
- 2) Em “Administração do dispositivo”, pressionar a caixa de seleção que permite a instalação de aplicativos de outras fontes além da *Play Store*;



- 3) Aparecerá uma mensagem de advertência, avisando sobre a vulnerabilidade dos dados em relação aos aplicativos baixados de fontes diversas (não se preocupe, pois o aplicativo não oferece risco aos seus dados e, depois que fizer a instalação recomenda-se restaurar a configuração original);



- 4) A seguir o item aparece marcado, conforme mostra a figura abaixo:



- 5) Abra o e-mail informado no cadastro em seu dispositivo móvel, o link para download foi disponibilizado através dele;
- 6) Caso tenha problemas envie uma mensagem descrevendo seu problema para andrelbe@hotmail.com com o assunto GameCoop;
- 7) Após a instalação volte a desmarcar a opção de configuração acima para garantir a segurança de seus dados contra instalações de aplicativos de forma involuntária;

Informação de segurança: Quando fizer download de outras fontes, procure conhecer a origem do aplicativo para que não coloque seus dados e informações em risco.

Ferramentas de Desenvolvimento

▪ ECLISPE

O Eclipse é um ambiente de desenvolvimento que pode ser utilizado para desenvolver aplicações em Java para Android (assim como Netbeans ou IntelliJ IDEA). Recomenda-se o Eclipse 3.6.2 (Hélios) ou superior. Ao fazer o download do Eclipse é

recomendado escolher a versão para JAVA EE Developers, que possui o plugin Web Tools Platform (WTP), necessário para executar requisições Http.

O Eclipse pode ser baixado no endereço: <http://eclipse.org/downloads/> (acessado em dezembro de 2012).

- ADT (ANDROID DEVELOPMENT TOOLS)

O ADT é um plug-in fornecido pelo Google, que permite desenvolver projetos do tipo Android e testá-los no emulador.

O ADT pode ser baixado no seguinte endereço: <http://developer.android.com/sdk/eclipse-adt.html> (acessado em dezembro de 2012).

- CONSIDERAÇÕES

Como existem inúmeros dispositivos móveis com Android no mercado, é possível que cada um deles tenha uma versão diferente do sistema operacional. Portanto, para desenvolver aplicações é necessário instalar as APIs de nível (API Level) correspondentes às plataformas para as quais se deseja desenvolver (compatibilidade).

O jogo foi desenvolvido para funcionar tanto em *tablet* quanto em *smartphones* com a versão 4.2 Jelly Bean (compatibilidade mínima com a versão 2.2 Froyo) do sistema *Android*. Os Testes foram conduzidos no simulador utilizando as duas configurações de equipamentos. No presente trabalho foram utilizadas apenas as imagens da configuração do *tablet* de 7 polegadas.

- ANDROID SDK

Programa aplicativo de uso específico utilizado para desenvolver aplicações no Android, ferramentas utilitárias e, também, uma API completa para a linguagem Java. Embora o SDK possua um emulador para simular dispositivos móveis, existe um plug-in para o Eclipse que visa integrar o ambiente de desenvolvimento Java com o Emulador.

O SDK pode ser baixado no endereço: <http://developer.android.com/sdk/> (acessado em dezembro de 2012).

- EMULADOR

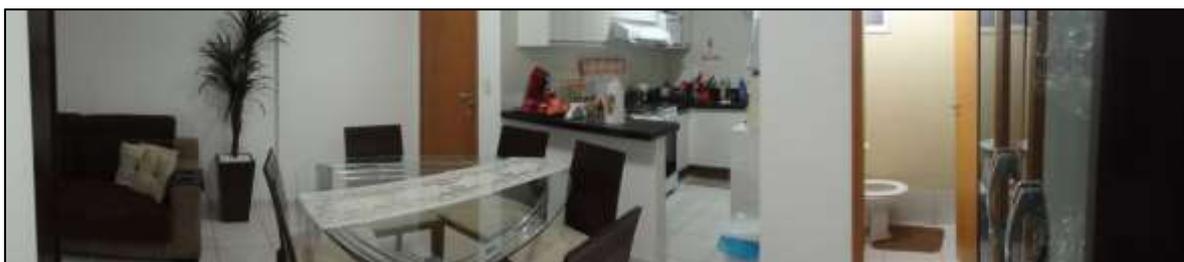
O emulador de dispositivo faz parte do sdk do Eclipse. A captura de telas do jogo foi realizada por meio da execução do jogo no emulador, para não interromper as sessões do jogo com os voluntários durante os experimentos. A interrupção do jogo

durante as sessões poderia afetar os resultados.

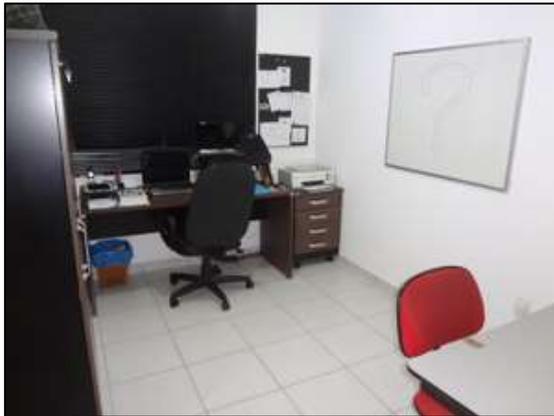


Captura de imagens para o tutor

A seguir, alguns exemplos de imagens capturadas para uso no tutor ou como referência para a modelagem do ambiente.







▪ DESENHO DOS AMBIENTES DO JOGO

O ambiente residencial foi baseado no apartamento cujas imagens aparecem acima. Já o ambiente empresarial é todo digital.

Os mapas dos ambientes, em sua forma gráfica com as várias perspectivas, foram constituídos utilizando-se de outro jogo digital denominado de The Sims FreePlay da EA Games (marca registrada),



desenvolvido para tablets (e redes sociais). Essa escolha se deu pela facilidade de construir ambientes dentro do jogo.

Para fazer com que o ambiente ficasse parecido com o fotografado, foram utilizados modelos de objetos, disponibilizados pelo jogo. Tais objetos se assemelhavam com os objetos fotografados. Além disso, foi utilizado um programa de edição (Adobe Photoshop) de imagens para realizar as adaptações necessárias para a aproximação com o ambiente real e, no caso do ambiente empresarial, pequenas alterações para descaracterizar a imagem e não ficar muito parecida com a original retirada do jogo The Sims.

A figura abaixo mostra o antes (captura de imagens dentro do jogo The Sims) e depois da edição para inserção no GameCoop.

Ambiente residencial:



Ambiente empresarial:



▪ INSTRUÇÕES DADAS ANTES DA TUTORIA

ORIENTAÇÕES INICIAIS

Este jogo faz parte de um estudo científico onde você poderá fornecer informações importantes para os objetivos que o experimento pretende alcançar. Pedimos a você que leia atentamente as instruções abaixo para que as tarefas programadas sejam realizadas da melhor forma possível.

- Permaneça em silêncio.
- Em caso de dúvida ou qualquer outra necessidade, levante a mão e aguarde até que o instrutor venha até você.
- Fale com o instrutor em voz baixa.
- O jogo apresentará diversas atividades, individuais e em equipe, o sistema tutor sempre informará as instruções da atividade.
- Toda e qualquer comunicação entre os membros das equipes deve ser realizada através do sistema tutor.

Vale lembrar que suas informações pessoais serão mantidas em sigilo e, especificamente, não serão divulgadas sem o seu consentimento.

Caso tenha esquecido o seu nome de usuário ou sua senha, saiba que esses dados foram enviados para o e-mail cadastrado.

Pressione o botão abaixo para concordar com as instruções e liberar o acesso.

Após apresentar essas informações o sistema apresenta também uma caixa de opção descrita com a legenda “Concordo”; Quando a caixa estiver selecionada o sistema habilita o *login*.

Apêndice 5: Aplicativos Analisados

Este Apêndice apresenta uma ficha básica de alguns aplicativos e jogos analisados durante a concepção do presente estudo. As análises tiveram como objetivo observar:

- Interface;
- Componentes de jogos;
- Facilidade de uso;
- Curva de aprendizado;
- Aprendizagem;
- Dinâmica do aplicativo/jogo;
- Motivação para uso do aplicativo/jogo;

Nome: Duolingo – Duolingo	
Descrição	Plataformas
Aplicativo divertido de educação voltado ao ensino de idiomas. Ensina inglês, espanhol, alemão ou francês. Segundo o fabricante, 34 horas de Duolingo corresponde a 1 semestre de aulas de idioma. Ainda segundo eles, é científico. Eles analisam e medem cientificamente como as pessoas aprendem no aplicativo e como a aprendizagem melhora através do uso da inteligência artificial.	Android; IOS; web; PC
	Acesso Google Play; App Store; Windows Store; www.duolingo.com/
Itens analisados	
Interatividade; Acesso; Interface; Aprendizagem (aumento do vocabulário e fluência no idioma estrangeiro escolhido); Reforço nas lições que o usuário erra; Teste de nível para pular fases e estimular o usuário que já possui certo conhecimento; Estimula a pronúncia de frases;	Embora seja possível competir em relação ao desempenho com outros usuários, essa característica do aplicativo não é atrativa (pode frustrar o aprendiz); É calculado o tempo de esquecimento das lições; Didática;
Observação de habilidades desenvolvidas com o jogo	
Aumento do vocabulário em idioma estrangeiro; Aumento de fluência em idioma estrangeiro; Memória; Raciocínio lógico (entender a gramática);	Observação (identificação de cognatos e regras de linguagem);

Nome: CSI: Hidden Crimes	
Descrição	Plataformas
Jogo social caça a objetos. Permite investigar cenas de crimes (busca por objetos), analisar pistas e	Android; IOS; web;
	Acesso

interrogar suspeitos. Desenvolve a lógica e rapidez de observação.	Google Play; App Store; Amazon for Android; apps.facebook.com/csihiddencrimes/
Itens analisados	
Interface; Cooperação (formação de equipe); Componentes de jogos; Caça a objetos; Forma de apresentação de conteúdo;	Tempo como forma de acentuar a dificuldade; Competitividade; Interatividade;
Observação de habilidades desenvolvidas com o jogo	
Memória; Observação; Agilidade.	Relacionamento interpessoal; Atenção.

Nome: Palavras com Amigos (Words With Friends) - Zynga	
Descrição	Plataformas
Jogo social de palavras cruzadas que testa tanto a habilidade de montar palavras, vocabulário e estratégia jogo. Pode ser jogado em inglês, espanhol, alemão, italiano, português brasileiro e inglês britânico.	Android; IOS; web; PC
	Acesso
	Google Play; App Store; apps.facebook.com/wordswithfriends/
Itens analisados	
Interatividade; Cooperação involuntária; Acesso; Interface; Aprendizagem (aumento do vocabulário);	Perfil e estatística do jogador; Análise de jogo; Jogo competitivo ou solo (prática); Comunicação; Jogos independentes e simultâneos;
Observação de habilidades desenvolvidas com o jogo	
Aumento do vocabulário; Memória; Estratégia (ofensiva e defensiva); Raciocínio lógico;	Relacionamento interpessoal (social); Observação (jogo e comportamento do oponente);

Nome: The Sims FreePlay	
Descrição	Plataformas
Jogo social de que simulam pessoas e processos em uma cidade.	Android; IOS; web; PC
	Acesso
	Google Play; App Store; facebook.com/games/thesimsfreeplay/
Itens analisados	
Interatividade; Acesso; Interface; Construção de ambientes; Instruções do jogo para a execução de tarefas.	Perfil e estatística do jogador; Jogo competitivo de forma implícita; Uso de recursos para a execução de processos.
Observação de habilidades desenvolvidas com o jogo	
Noções de espaço;	Funcionalidade do mapa.

Apêndice 6: Dados

Legenda:

SX – SEXO

- 1 – FEMININO
- 2 – MASCULINO

FE – FAIXA ETÁRIA

- 1 – MENOS DE 15 ANOS
- 2 – 15 A 25 ANOS
- 3 – 26 A 35 ANOS
- 4 – 36 A 45 ANOS
- 5 – MAIS DE 45 ANOS

GI – GRAU DE INSTRUÇÃO

- 1 – ENSINO MÉDIO INCOMPLETO
- 2 – ENSINO MÉDIO COMPLETO
- 3 – ENSINO SUPERIOR INCOMPLETO
- 4 – ENSINO SUPERIOR COMPLETO
- 5 – ESPECIALIZAÇÃO COMPLETA
- 6 – MESTRADO COMPLETO
- 7 – DOUTORADO COMPLETO

HA – HABILIDADE (0 – 10)

NI – NOTA INICIAL (0 – 10)

NF – NOTA FINAL (0 -10)

GN – GANHO NORMALIZADO

E – EFICIÊNCIA

SA – SATISFAÇÃO COM MÉTODO DE ENSINO

- 1 – MUITO DESINTERESSANTE
- 2 – DESINTERESSANTE
- 3 – INDIFERENTE
- 4 – INTERESSANTE
- 5 – MUITO INTERESSANTE

NC – NÍVEL DE CONFORTO

- 1 – MUITO DESAGRADÁVEL
- 2 – DESAGRADÁVEL
- 3 – INDIFERENTE
- 4 – AGRADÁVEL
- 5 – MUITO AGRADÁVEL

FA – NÍVEL DE FADIGA

- 1 – MUITO CANSATIVA
- 2 – CANSATIVA
- 3 – INDIFERENTE
- 4 – POUCO CANSATIVA
- 5 – NADA CANSATIVA

PT – PROBLEMA TÉCNICO

- 0 – NENHUM PROBLEMA
- 1 – OCORRÊNCIA DE PROBLEMA

▪ ENSINO TRADICIONAL

SX	FE	GI	NI	NF	GN	SA	NC	FA
2	2	3	3,50	8,00	69,23	4	4	4
1	2	3	4,50	5,00	9,09	3	4	2
1	2	3	3,50	4,00	7,69	4	5	4
2	3	4	5,00	6,50	30,00	4	3	3
2	2	3	2,50	6,00	46,67	4	4	2
1	2	3	4,50	6,00	27,27	4	3	3
1	2	3	4,00	1,50	-41,67	4	3	3
1	2	4	5,50	6,50	22,22	3	2	2
1	3	4	4,50	7,00	45,45	3	3	3
1	2	3	6,00	6,50	12,50	2	4	3
2	2	3	3,50	8,50	76,92	4	4	2
1	5	4	5,50	7,00	33,33	2	2	3
1	3	3	2,50	6,50	53,33	4	4	3
2	3	4	6,00	5,60	-10,00	3	3	3
1	4	5	7,00	7,50	16,67	3	3	3
1	2	3	3,00	4,50	21,43	4	3	3
2	2	3	3,00	5,00	28,57	4	4	4
2	2	4	6,50	9,00	71,43	2	3	3
2	2	3	2,50	7,00	60,00	4	4	4
2	3	3	3,50	3,00	-7,69	2	2	2
1	4	4	4,50	5,50	18,18	4	4	1
2	2	3	4,00	4,50	8,33	2	4	5
2	3	3	4,00	9,00	83,33	2	4	2
1	2	4	7,50	9,00	60,00	4	4	5
2	3	3	4,50	5,50	18,18	4	4	3
1	3	3	3,50	2,50	-15,38	2	4	4
2	2	4	7,50	8,00	20,00	4	4	5
1	2	4	7,50	7,47	-1,33	3	3	4
2	2	3	6,00	5,50	-12,50	2	4	4
2	3	3	2,50	7,50	66,67	4	4	5
1	2	3	4,00	8,50	75,00	5	3	1
1	2	4	6,00	7,00	25,00	4	3	1
1	2	4	7,00	10,00	100,00	4	4	4
2	3	4	2,50	5,00	33,33	5	4	4
1	2	4	2,00	8,50	81,25	4	3	2
2	3	3	3,00	7,50	64,29	4	4	5
2	2	4	5,00	5,00	0,00	4	3	3
2	4	4	4,50	10,00	100,00	4	4	2
2	4	4	4,00	8,00	66,67	4	4	5
1	2	3	2,00	5,50	43,75	2	2	2
2	2	3	2,00	5,47	43,33	4	4	4
2	2	3	3,00	5,00	28,57	5	4	4
2	3	4	5,00	5,50	10,00	4	4	4
2	2	3	3,50	5,00	23,08	4	4	5
2	3	4	2,50	6,50	53,33	2	4	4
2	2	3	2,50	6,50	53,33	4	4	5
2	3	4	4,00	8,00	66,67	4	4	4
2	3	3	2,00	9,00	87,50	2	4	3

2	3	4	7,00	5,50	-50,00	2	4	4
2	2	3	3,50	6,50	46,15	1	1	2
2	5	4	3,50	5,00	23,08	4	4	4
2	2	3	5,00	6,50	30,00	1	1	1
2	2	3	3,00	8,00	71,43	4	4	4
2	4	4	4,00	4,00	0,00	3	4	2
2	2	4	7,00	6,50	-16,67	2	4	4
1	3	3	2,50	5,00	33,33	3	4	1
2	3	4	4,50	8,00	63,64	4	2	3
1	4	4	3,00	6,00	42,86	4	4	2
1	3	4	4,50	8,00	63,64	4	3	3
1	2	2	1,50	3,50	23,53	2	3	3
2	3	3	2,50	6,00	46,67	4	4	5
1	2	3	1,50	8,67	84,31	4	4	5
1	3	3	4,00	5,50	25,00	1	5	2
1	2	3	6,00	5,00	-25,00	4	4	4
1	2	2	6,00	7,00	25,00	2	2	1
2	2	3	1,50	8,00	76,47	4	4	3
1	3	3	2,00	3,50	18,75	2	4	4
2	2	3	4,50	6,00	27,27	3	3	4
2	3	2	0,50	7,00	68,42	4	4	4
2	3	4	5,00	8,00	60,00	4	3	4
1	2	4	6,50	7,00	14,29	2	4	1
2	2	2	1,00	6,00	55,56	4	3	4
1	2	2	2,50	8,00	73,33	3	4	4
2	2	2	2,00	5,50	43,75	4	3	2
2	4	4	3,50	6,00	38,46	4	4	4
2	2	3	3,50	4,00	7,69	2	3	4
2	3	4	6,00	7,00	25,00	2	2	4
2	2	3	5,60	7,00	31,82	4	4	4
1	4	5	4,00	8,50	75,00	4	4	4
1	4	5	4,00	8,50	75,00	4	4	4
1	2	2	2,00	7,00	62,50	3	4	4
2	2	4	5,00	7,00	40,00	4	4	4
2	2	3	4,50	7,50	54,55	1	2	4
2	2	3	2,50	8,00	73,33	3	4	4

▪ ENSINO POR MEIO DE JOGO COM NAVEGAÇÃO LIVRE

PT	SX	FE	GI	HÁ	NI	NF	GN	SA	NC	FA
0	2	4	4	6,6667	5,00	7,50	50,00	5	4	2
0	1	4	5	6,6667	5,00	7,00	40,00	4	4	2
0	2	3	4	7,5000	5,50	9,50	88,89	5	5	2
0	1	2	3	8,3333	6,50	9,00	71,43	4	3	3
0	2	2	3	3,3333	3,50	8,00	69,23	4	4	2
1	1	3	5	6,6667	4,00	7,00	50,00	2	3	2
0	1	2	4	6,6667	5,00	8,00	60,00	2	3	2
0	1	2	3	4,1667	4,00	7,00	50,00	3	2	2
0	1	4	5	4,1667	4,00	6,50	41,67	3	3	3
0	2	2	4	6,6667	5,00	7,00	40,00	4	4	3

0	2	3	5	3,3333	3,00	8,00	71,43	4	4	2
1	2	3	4	5,0000	5,00	6,00	20,00	2	2	3
0	1	4	5	7,5000	5,50	8,00	55,56	4	4	2
0	2	2	3	1,6667	2,00	5,50	43,75	3	3	2
0	2	2	3	7,5000	5,50	9,00	77,78	3	3	2
1	2	2	3	5,0000	5,00	7,50	50,00	4	3	2
0	2	2	3	5,8333	5,00	8,50	70,00	4	4	4
0	2	4	4	5,8333	5,00	8,00	60,00	2	3	2
0	2	2	4	4,1667	4,00	8,00	66,67	4	4	4
1	2	3	2	2,5000	5,00	4,00	-20,00	1	2	2
0	2	2	3	3,3333	2,50	7,00	60,00	4	4	1
1	2	2	4	6,6667	4,00	7,00	50,00	4	4	5
0	1	2	4	3,3333	3,50	7,50	61,54	4	4	1
1	2	4	3	5,8333	4,50	8,00	63,64	4	4	5
0	1	2	3	4,1667	3,50	8,50	76,92	4	4	3
1	2	3	4	4,1667	4,00	7,00	50,00	4	4	5
0	2	2	4	4,1667	3,50	7,00	53,85	4	4	2
0	2	3	4	3,3333	3,50	7,00	53,85	3	3	1
0	2	2	3	3,3333	3,50	6,00	38,46	4	4	4
0	1	2	3	4,1667	3,50	8,00	69,23	4	4	1
0	1	2	3	3,3333	3,50	8,00	69,23	2	3	2
0	2	2	3	6,6667	5,00	8,00	60,00	4	3	2
0	2	2	3	5,8333	4,00	7,00	50,00	4	4	4
0	2	2	3	7,5000	5,50	9,00	77,78	5	4	5
1	2	2	3	5,0000	3,50	5,50	30,77	4	3	2
0	2	2	4	3,3333	3,00	8,50	78,57	4	4	2
1	2	2	4	6,6667	5,00	7,50	50,00	4	3	2
0	2	3	3	3,3333	3,00	8,50	78,57	4	4	1
0	2	2	3	4,1667	3,50	6,50	46,15	4	4	2
0	1	3	4	3,3333	3,50	5,50	30,77	2	2	2
0	2	2	4	6,6667	4,50	8,00	63,64	4	4	5
0	2	3	3	5,8333	5,00	9,00	80,00	5	4	2
0	2	3	4	7,5000	5,50	9,00	77,78	4	4	4
0	2	2	4	4,1667	3,50	8,00	69,23	4	4	1
0	2	2	3	6,6667	5,00	7,00	40,00	2	4	1
0	2	3	4	3,3333	3,00	8,00	71,43	4	4	5
0	1	2	4	4,1667	3,50	7,00	53,85	4	4	2
1	2	4	2	6,6667	3,00	6,00	42,86	2	4	3
0	2	2	4	4,1667	4,00	7,00	50,00	4	4	4
1	2	3	4	4,1667	4,00	7,50	58,33	1	1	2
0	2	2	2	1,6667	2,00	7,00	62,50	4	4	4
0	2	2	4	7,5000	5,50	7,50	44,44	1	1	1
0	2	3	4	6,6667	5,50	9,00	77,78	4	4	4
0	2	2	4	4,1667	4,00	8,00	66,67	3	4	1
0	2	2	4	3,3333	3,00	7,50	64,29	4	4	4
0	2	5	4	4,1667	2,50	7,50	66,67	3	4	1
0	2	3	4	6,6667	5,00	8,50	70,00	4	2	3
1	1	4	4	4,1667	4,50	7,00	45,45	4	4	2
1	2	3	3	6,6667	4,00	7,00	50,00	4	3	2
0	2	5	5	7,5000	5,50	8,50	66,67	2	3	2
0	2	2	4	4,1667	4,00	9,00	83,33	4	4	5

0	2	2	3	4,1667	3,50	6,00	38,46	4	4	1
0	2	3	4	6,6667	5,00	8,00	60,00	1	5	2
0	2	3	4	5,8333	4,00	7,50	58,33	4	4	2
0	2	4	5	3,3333	3,00	4,00	14,29	2	2	1
0	2	3	4	5,8333	4,00	7,00	50,00	4	4	3
0	1	2	4	9,1667	7,00	10,00	100,00	4	4	4
0	1	3	4	4,1667	3,50	5,50	30,77	3	3	4
0	1	2	4	4,1667	4,00	8,00	66,67	4	4	2
0	1	2	3	1,6667	2,00	8,00	75,00	4	3	4
0	2	3	4	5,8333	4,50	8,00	63,64	4	4	1
1	1	2	4	7,5000	3,00	8,50	78,57	4	3	4
1	1	2	4	8,3333	3,50	7,50	61,54	3	4	4
0	2	3	4	4,1667	4,00	7,00	50,00	4	3	2
0	1	4	4	6,6667	4,50	8,00	63,64	4	4	4
1	1	2	4	5,8333	4,00	7,50	58,33	2	3	4
0	1	2	2	1,6667	1,50	5,50	47,06	2	2	1
0	1	2	3	4,1667	4,00	8,00	66,67	4	4	4
0	2	3	5	7,5000	5,50	8,00	55,56	4	4	4
0	2	3	4	3,3333	2,50	7,50	66,67	4	4	4
0	2	2	4	4,1667	3,50	7,50	61,54	3	4	4
0	2	3	4	0,833	1,00	5,50	50,00	4	4	4
0	2	2	2	4,1667	2,50	5,50	40,00	1	2	1
1	1	4	3	5,8333	3,50	7,00	53,85	3	4	4
0	2	2	4	6,6667	5,00	7,50	50,00	2	3	4
0	1	2	3	4,1667	3,50	8,00	69,23	4	3	2
0	2	2	4	7,5000	5,50	8,00	55,56	4	4	4
0	1	2	4	5,8333	4,50	9,00	81,82	4	3	2
0	1	3	4	6,6667	5,50	9,00	77,78	4	4	2
0	2	2	3	5,8333	5,00	7,00	40,00	3	3	3
0	2	5	2	0,833	0,50	5,50	52,63	1	2	1
0	2	3	4	4,1667	3,50	7,00	53,85	2	2	2
0	1	3	2	1,6667	2,00	5,50	43,75	2	2	2
0	1	4	3	5,8333	4,00	9,00	83,33	5	4	4
0	1	3	4	4,1667	3,00	7,50	64,29	4	4	4
0	1	2	3	6,6667	5,50	9,00	77,78	5	4	4
0	1	2	3	5,8333	4,00	8,00	66,67	4	4	4
0	1	2	3	4,1667	3,50	9,00	84,62	5	4	4
1	2	4	4	7,5000	4,00	6,50	41,67	3	4	4
0	2	2	3	5,8333	4,00	8,00	66,67	4	3	4
0	1	2	4	3,3333	2,50	7,00	60,00	4	3	4
0	2	2	2	0,833	1,00	7,50	72,22	5	4	4
0	1	3	3	1,6667	2,00	7,00	62,50	4	4	2
0	1	4	3	6,6667	4,50	8,00	63,64	4	4	4
0	1	2	4	6,6667	5,50	9,00	77,78	5	4	2
0	2	2	4	5,8333	4,00	8,00	66,67	4	4	2
0	2	2	2	3,3333	2,50	7,50	66,67	2	4	2
0	1	2	4	1,6667	2,00	4,00	25,00	1	2	2
0	1	3	4	4,1667	4,00	8,50	75,00	5	4	2
0	1	2	3	6,6667	5,00	7,50	50,00	4	3	2
1	1	2	3	5,0000	2,50	7,00	60,00	4	3	4
0	1	2	4	4,1667	3,50	7,00	53,85	4	3	3

0	1	3	4	3,3333	3,00	7,50	64,29	2	3	3
0	2	2	3	4,1667	3,50	7,50	61,54	4	3	3
0	2	3	4	7,5000	5,50	9,00	77,78	4	4	2
0	2	5	4	3,3333	3,00	8,00	71,43	2	4	2
0	2	3	5	5,8333	5,00	8,00	60,00	4	3	3
1	1	2	4	6,6667	3,50	7,50	61,54	4	3	4
0	2	4	4	6,6667	5,00	8,50	70,00	4	4	2
0	2	3	4	3,3333	3,00	8,50	78,57	5	4	4
1	1	3	4	5,0000	4,00	7,50	58,33	4	4	4
0	1	3	5	4,1667	4,00	7,50	58,33	4	4	2
1	2	2	3	4,1667	5,00	6,00	20,00	2	2	2
0	1	2	3	4,1667	3,50	8,00	69,23	4	4	3
1	1	3	4	6,6667	3,00	7,00	57,14	4	4	4
0	2	3	5	4,1667	4,00	7,00	50,00	4	4	2
0	2	2	3	4,1667	3,50	7,50	61,54	4	4	4
0	1	2	3	1,6667	2,00	5,50	43,75	4	4	2
0	2	3	5	5,8333	4,00	8,50	75,00	5	4	4
1	1	2	4	6,6667	3,50	6,50	46,15	3	3	2
0	2	3	4	5,8333	5,00	8,00	60,00	4	3	2
1	1	3	5	5,8333	4,50	6,50	36,36	2	3	2
0	2	2	4	6,6667	4,50	7,50	54,55	4	4	1
0	2	2	3	5,8333	4,50	8,00	63,64	4	4	4
0	2	3	4	6,6667	5,50	8,00	55,56	4	4	4
0	2	3	4	4,1667	3,50	7,00	53,85	4	4	5
0	2	2	3	5,8333	4,50	8,00	63,64	4	4	4
0	2	3	5	4,1667	3,50	8,50	76,92	5	4	4
0	2	2	3	4,1667	4,00	8,00	66,67	4	4	2
0	2	2	4	3,3333	3,50	6,50	46,15	4	3	1
0	2	3	4	5,8333	5,50	9,00	77,78	5	4	5
1	2	2	2	7,5000	3,00	5,00	28,57	3	4	5
0	1	2	4	5,8333	4,00	8,00	66,67	4	4	4
0	1	5	3	3,3333	3,50	7,50	61,54	4	4	2
0	2	3	4	5,8333	5,00	9,50	90,00	5	4	2
0	2	4	3	7,5000	5,50	9,00	77,78	4	4	1
0	2	2	3	4,1667	3,50	7,00	53,85	4	4	2
0	2	2	3	4,1667	4,00	9,00	83,33	5	4	3
1	1	2	3	5,0000	4,00	6,00	33,33	2	4	5
0	1	2	3	3,3333	3,00	8,50	78,57	4	4	2
0	2	4	5	3,3333	3,00	6,00	42,86	2	3	2
1	2	3	5	3,3333	3,50	7,00	53,85	3	3	2
0	2	3	4	6,6667	4,50	8,00	63,64	4	4	2
0	2	2	4	7,5000	5,50	6,00	11,11	3	4	4
0	2	3	5	10,0000	7,00	10,00	100,00	4	3	3
0	2	3	4	4,1667	3,50	7,00	53,85	4	4	3
0	2	4	3	4,1667	3,50	7,00	53,85	4	4	2
0	1	2	3	5,8333	4,50	8,00	63,64	4	4	2
0	1	2	4	5,8333	4,50	9,00	81,82	5	4	4
0	2	2	3	3,3333	3,50	5,50	30,77	1	1	2
0	2	3	5	4,1667	4,00	7,00	50,00	4	4	2
0	2	4	4	6,6667	5,00	8,00	60,00	4	4	2
0	2	2	3	3,3333	3,00	7,00	57,14	4	4	4

1	2	3	4	6,6667	3,50	5,50	30,77	1	2	2
0	2	2	3	4,1667	4,00	8,00	66,67	4	4	4
0	1	2	3	5,8333	5,00	8,50	70,00	4	3	2
0	2	2	2	1,6667	2,00	5,00	37,50	4	3	3
0	2	3	4	5,8333	5,00	8,00	60,00	4	4	4
0	2	3	5	6,6667	5,00	7,50	50,00	4	4	2
0	2	3	4	8,3333	6,50	9,00	71,43	4	4	2
0	2	2	3	4,1667	3,50	7,50	61,54	4	4	4
0	2	3	2	0,833	0,50	4,00	36,84	2	2	1
0	2	3	4	3,3333	2,00	5,50	43,75	4	4	4
0	2	2	3	6,6667	5,50	8,00	55,56	4	4	4
0	2	2	3	5,8333	4,00	8,50	75,00	4	4	4
0	2	4	5	4,1667	3,50	6,50	46,15	2	3	1
0	1	3	4	7,5000	5,50	7,50	44,44	2	3	1
0	1	2	3	3,3333	3,00	7,50	64,29	2	3	2
0	2	2	4	6,6667	4,50	8,00	63,64	4	3	2
0	2	2	2	3,3333	3,00	7,50	64,29	3	3	2
0	1	3	4	5,8333	4,00	7,50	58,33	4	3	1
0	1	2	3	3,3333	3,50	8,50	76,92	3	4	2
0	1	3	4	1,6667	2,00	5,50	43,75	4	4	3
0	1	4	3	7,5000	5,50	7,00	33,33	1	3	4
0	1	3	4	5,8333	5,00	9,50	90,00	5	5	2
0	2	2	4	3,3333	2,50	7,50	66,67	4	4	4
0	2	3	4	6,6667	5,50	9,00	77,78	4	4	2
0	2	2	4	5,8333	5,00	8,00	60,00	4	4	2
0	1	3	4	8,3333	6,00	7,00	25,00	4	3	4
0	2	3	4	6,6667	4,50	7,00	45,45	4	4	2
0	1	2	3	5,8333	5,00	8,50	70,00	4	4	4
0	1	3	5	7,5000	5,50	10,00	100,00	5	4	4
0	1	4	4	3,3333	3,50	9,50	92,31	5	5	2
0	2	2	4	6,6667	5,50	9,00	77,78	5	3	4
0	2	2	4	4,1667	4,00	8,00	66,67	4	5	2
0	2	2	1	0,833	1,00	7,50	72,22	4	4	4
0	2	2	3	6,6667	5,00	7,00	40,00	3	4	3
0	2	2	4	8,3333	6,00	9,50	87,50	4	4	4
0	2	2	4	5,8333	5,00	8,00	60,00	4	4	3
0	2	3	5	4,1667	4,00	8,00	66,67	4	4	4
1	1	4	4	4,1667	5,00	7,00	40,00	2	2	1
0	1	2	3	4,1667	4,00	6,00	33,33	4	4	4
0	2	4	4	6,6667	5,50	8,00	55,56	4	4	1
0	2	2	4	3,3333	3,50	7,50	61,54	4	4	4
0	2	3	5	5,8333	4,00	8,00	66,67	2	3	1
0	1	2	4	5,8333	4,50	8,00	63,64	4	4	4
0	1	4	5	3,3333	3,00	7,00	57,14	4	4	4
1	1	2	3	4,1667	4,00	5,00	16,67	1	2	2
0	2	2	4	5,8333	4,50	9,00	81,82	4	4	5
0	2	2	3	5,8333	5,00	7,50	50,00	4	4	1
0	2	3	4	6,6667	5,50	7,00	33,33	4	4	2
0	2	2	4	5,8333	4,50	7,00	45,45	4	4	2
0	2	3	4	3,3333	3,00	6,50	50,00	4	4	2
0	2	5	4	5,8333	4,00	8,50	75,00	2	3	2

0	2	2	4	5,8333	4,50	7,50	54,55	4	4	4
0	2	2	3	4,1667	3,50	7,50	61,54	4	4	5
1	2	4	4	2,5000	6,50	8,00	42,86	4	4	4
0	2	2	3	7,5000	5,50	9,00	77,78	5	5	5
0	2	3	4	4,1667	4,00	7,00	50,00	4	4	4
0	2	3	3	3,3333	3,50	7,50	61,54	4	4	4
0	1	2	3	3,3333	3,00	7,50	64,29	4	5	2
0	2	2	3	4,1667	4,00	8,00	66,67	4	4	2
1	1	3	4	6,6667	3,00	7,00	57,14	4	4	2
1	1	2	3	6,6667	3,50	6,50	46,15	4	4	5
0	1	2	3	5,8333	5,00	7,50	50,00	4	5	4
0	1	2	3	3,3333	3,50	7,00	53,85	4	4	5
0	1	2	4	5,8333	5,00	9,00	80,00	4	4	5
0	1	2	4	3,3333	2,00	5,50	43,75	4	4	1
0	1	2	3	5,8333	5,00	8,50	70,00	4	4	3
0	1	2	3	3,3333	3,50	6,50	46,15	4	4	1
0	2	4	4	3,3333	3,50	7,00	53,85	4	4	5
0	1	3	4	6,6667	4,50	8,00	63,64	4	3	2
1	2	3	4	7,5000	3,50	6,50	46,15	4	4	5
0	2	2	3	5,8333	4,50	8,00	63,64	4	3	2
0	2	2	4	3,3333	2,50	6,00	46,67	4	4	2
1	1	2	3	5,0000	4,00	7,50	58,33	4	4	4
0	2	2	3	7,5000	5,50	9,00	77,78	4	4	4
0	1	3	5	3,3333	3,50	8,50	76,92	4	3	2
0	2	2	3	3,3333	3,50	7,00	53,85	4	4	2
0	2	2	3	5,8333	4,00	6,50	41,67	4	4	4
0	2	3	4	4,1667	2,50	5,50	40,00	4	3	2
0	1	2	3	3,3333	3,50	6,00	38,46	4	4	4
0	2	3	4	7,5000	5,50	9,00	77,78	4	4	4
0	2	2	4	6,6667	4,50	8,00	63,64	4	3	4
0	2	2	3	5,8333	4,50	7,50	54,55	4	4	4
0	2	5	5	4,1667	4,00	8,50	75,00	1	2	2
0	2	3	3	5,8333	5,00	8,50	70,00	4	4	4
0	2	3	5	4,1667	3,50	6,00	38,46	2	3	3
1	2	4	4	7,5000	4,00	7,50	58,33	2	3	4
0	2	2	3	3,3333	3,00	8,50	78,57	4	4	4
0	2	2	3	1,6667	1,00	7,00	66,67	4	4	3
0	2	2	4	1,6667	2,00	7,50	68,75	4	4	4
0	2	2	3	4,1667	3,50	7,50	61,54	4	5	4
0	1	3	4	5,8333	4,00	9,50	91,67	4	4	4
0	2	4	4	3,3333	2,50	6,00	46,67	4	3	2
0	1	2	4	4,1667	2,50	7,00	60,00	4	4	4
1	2	3	4	8,3333	4,00	7,50	58,33	4	4	4
0	1	2	3	5,8333	4,50	7,50	54,55	4	3	2
0	1	3	5	5,8333	4,00	7,50	58,33	4	4	4
0	1	3	4	6,6667	5,50	9,00	77,78	4	4	2
0	1	2	3	4,1667	2,50	5,50	40,00	2	2	1
0	1	2	4	5,8333	4,50	8,50	72,73	4	4	2
0	2	2	4	4,1667	3,50	5,50	30,77	2	3	4
0	2	3	5	4,1667	4,00	7,00	50,00	4	4	2
0	2	2	3	3,3333	2,50	7,50	66,67	4	4	2

0	1	2	3	5,8333	5,00	8,00	60,00	4	4	2
0	1	2	4	7,5000	6,00	9,50	87,50	5	4	2
0	1	3	4	4,1667	4,00	7,50	58,33	4	4	2
0	1	2	3	4,1667	3,50	7,50	61,54	4	4	4
0	2	3	5	3,3333	2,50	5,50	40,00	4	4	4
1	1	2	3	3,3333	4,50	6,50	36,36	2	2	4
0	1	4	4	4,1667	3,50	7,50	61,54	4	4	2
1	1	4	3	6,6667	5,00	8,00	60,00	4	4	2
1	2	2	3	7,5000	3,00	7,50	64,29	4	4	4
0	1	2	3	4,1667	3,50	6,00	38,46	2	2	1
0	1	2	3	7,5000	5,50	7,00	33,33	1	2	2
0	2	3	3	6,6667	5,50	8,00	55,56	4	5	3
0	2	2	3	4,1667	4,00	8,50	75,00	4	4	2
0	2	3	4	3,3333	2,50	5,50	40,00	3	4	2
0	1	2	4	6,6667	5,50	7,50	44,44	3	4	4
0	1	3	4	8,3333	6,50	9,00	71,43	4	4	5
0	2	2	4	4,1667	4,00	7,50	58,33	4	4	2
1	1	3	2	5,0000	3,50	7,00	53,85	4	4	2
1	1	3	4	5,8333	4,00	7,50	58,33	4	4	2
1	1	3	4	5,0000	4,50	8,50	72,73	4	4	2
0	1	4	3	3,3333	3,00	8,50	78,57	4	4	4
0	1	3	3	3,3333	3,00	8,00	71,43	4	4	4
0	1	2	4	9,1667	6,00	9,50	87,50	5	5	2
0	1	3	4	6,6667	5,00	8,00	60,00	4	4	4
0	1	2	3	6,6667	5,00	9,50	90,00	4	4	2
0	2	3	4	4,1667	3,50	7,50	61,54	4	4	2
0	2	2	3	5,8333	4,00	8,00	66,67	4	4	4
0	2	4	4	4,1667	3,50	6,50	46,15	4	4	4
0	2	2	3	6,6667	5,50	7,00	33,33	3	3	2
0	2	2	3	6,6667	5,00	8,00	60,00	4	4	4
0	2	3	4	4,1667	4,00	8,00	66,67	4	4	4
0	1	3	3	8,3333	6,50	9,00	71,43	4	4	2
0	1	2	3	4,1667	3,50	7,50	61,54	3	3	4
0	2	3	4	3,3333	3,00	5,50	35,71	4	4	1
0	1	2	3	1,6667	2,00	7,50	68,75	4	4	2
1	2	4	3	6,6667	5,00	6,00	20,00	1	2	1
0	2	4	3	3,3333	3,00	7,50	64,29	4	4	4
0	2	4	4	5,8333	4,50	8,00	63,64	4	4	2
0	1	2	3	4,1667	2,50	6,50	53,33	3	4	1
0	2	2	3	4,1667	3,50	8,50	76,92	4	4	5
0	2	2	3	6,6667	4,50	8,00	63,64	4	4	4
0	2	2	4	4,1667	3,50	5,00	23,08	2	3	1
0	2	2	3	4,1667	3,50	7,50	61,54	4	4	4
0	2	2	3	7,5000	5,50	8,50	66,67	4	4	4
0	2	2	3	5,8333	5,00	7,50	50,00	4	4	2
0	2	2	3	3,3333	4,00	7,00	50,00	1	4	1
1	2	2	3	4,1667	5,50	7,00	33,33	4	4	4
0	2	3	5	3,3333	3,00	7,00	57,14	4	4	2
0	2	3	4	9,1667	6,00	9,50	87,50	2	3	2
0	1	3	3	6,6667	5,50	8,00	55,56	4	4	4
0	1	2	3	5,8333	4,00	8,50	75,00	4	4	4

0	1	5	4	0,833	1,00	7,00	66,67	1	3	2
0	1	2	4	7,5000	5,50	8,00	55,56	3	3	4
1	1	2	3	4,1667	3,50	7,50	61,54	3	3	4
1	1	4	4	4,1667	4,50	7,00	45,45	2	3	2
0	1	2	4	4,1667	3,50	8,50	76,92	4	4	2
0	2	3	4	4,1667	4,00	7,00	50,00	4	4	4
0	1	3	5	4,1667	4,00	7,50	58,33	4	4	4
0	1	4	5	9,1667	7,00	6,00	-33,33	1	2	4
0	1	3	4	6,6667	4,50	8,50	72,73	4	4	3
0	2	2	3	4,1667	3,50	8,00	69,23	4	4	4
0	2	3	5	3,3333	2,50	7,00	60,00	1	2	2
0	2	2	4	6,6667	5,00	7,00	40,00	4	3	4
0	2	3	4	7,5000	5,50	8,00	55,56	4	4	4
0	1	2	4	5,8333	4,00	7,00	50,00	2	3	2
0	2	2	3	4,1667	3,50	8,00	69,23	4	4	2
0	2	2	3	3,3333	4,00	8,00	66,67	4	3	4
0	2	3	4	6,6667	4,50	9,00	81,82	4	4	2
0	2	2	3	4,1667	3,50	7,00	53,85	4	4	1
0	2	3	4	8,3333	6,50	8,00	42,86	1	2	4
0	2	3	4	6,6667	5,50	8,00	55,56	4	4	4
0	1	2	3	5,8333	5,00	8,00	60,00	4	4	3
1	1	2	3	8,3333	3,50	7,00	53,85	1	2	4
0	2	2	3	6,6667	4,50	8,00	63,64	4	4	4
0	1	2	3	8,3333	6,50	8,50	57,14	4	4	4
0	2	4	4	3,3333	3,00	6,00	42,86	1	2	2
0	2	2	3	4,1667	3,50	8,00	69,23	4	4	4
0	2	2	4	3,3333	2,50	7,50	66,67	4	4	2
0	1	2	4	6,6667	5,50	8,50	66,67	4	4	4
0	1	2	4	4,1667	3,50	6,50	46,15	2	2	2
0	2	3	5	5,8333	4,00	7,00	50,00	4	4	4
0	2	4	4	5,8333	5,00	8,00	60,00	4	4	4
0	2	2	4	6,6667	4,00	7,50	58,33	4	3	3
0	2	2	2	3,3333	2,50	8,00	73,33	4	4	4
0	2	2	4	8,3333	6,00	10,00	100,00	4	4	2
0	2	3	3	3,3333	3,00	7,50	64,29	4	3	2
0	2	2	3	4,1667	3,00	7,50	64,29	4	4	2
0	2	3	4	6,6667	5,50	9,00	77,78	4	4	2
0	1	2	3	4,1667	3,50	7,50	61,54	4	4	4
0	2	3	3	3,3333	2,50	5,50	40,00	2	3	2
1	2	2	3	7,5000	2,50	6,00	46,67	4	4	4
0	2	4	2	4,1667	3,50	6,50	46,15	2	3	2
0	2	4	5	6,6667	5,50	8,00	55,56	4	4	4
0	2	2	3	4,1667	4,00	6,50	41,67	4	4	4
0	1	2	3	5,8333	5,00	7,50	50,00	4	4	4
0	1	2	3	3,3333	3,00	6,00	42,86	2	3	3
0	2	3	3	8,3333	6,00	8,50	62,50	4	4	4
0	2	2	3	0,833	1,50	5,50	47,06	4	4	4
0	1	2	3	4,1667	4,00	8,50	75,00	3	3	2
0	2	3	5	3,3333	3,00	7,00	57,14	4	4	4
0	1	2	4	9,1667	6,50	9,50	85,71	4	4	2
0	2	4	5	7,5000	5,50	7,50	44,44	1	2	2

0	2	3	4	7,5000	5,50	9,00	77,78	4	4	2
0	2	2	3	5,8333	4,50	8,00	63,64	4	4	4
1	2	3	4	8,3333	3,50	7,00	53,85	4	4	2
0	2	3	4	6,6667	5,00	7,50	50,00	2	3	2
0	2	3	4	7,5000	5,50	8,00	55,56	4	4	2
0	1	3	5	6,6667	5,00	7,50	50,00	1	2	2
0	1	2	4	3,3333	3,00	8,50	78,57	4	4	2
0	1	3	4	5,8333	5,00	8,00	60,00	4	4	2
0	2	2	3	5,8333	5,00	9,00	80,00	4	4	2
0	2	3	5	3,3333	3,00	7,50	64,29	3	3	3
0	2	2	3	4,1667	3,50	8,00	69,23	2	4	4
0	2	4	4	4,1667	2,50	6,50	53,33	1	3	2
0	2	2	4	6,6667	4,00	7,00	50,00	2	4	2
0	2	2	4	7,5000	5,50	8,00	55,56	4	4	4
0	1	3	3	5,8333	5,00	8,00	60,00	4	4	2
0	2	3	4	9,1667	6,50	9,00	71,43	3	4	2
0	2	2	3	4,1667	3,50	7,50	61,54	4	4	4
0	2	3	5	3,3333	2,50	6,00	46,67	2	4	2
0	2	3	4	3,3333	2,50	5,50	40,00	2	4	1
0	2	2	3	1,6667	1,50	5,50	47,06	2	4	2
0	2	4	5	6,6667	5,50	7,00	33,33	1	1	2
0	1	2	3	6,6667	4,50	7,00	45,45	4	4	4
1	1	2	3	5,8333	4,00	6,00	33,33	2	2	2
0	2	2	2	3,3333	2,50	7,50	66,67	1	1	2
0	2	2	4	5,8333	4,00	8,50	75,00	4	4	4
0	1	3	4	6,6667	5,50	8,00	55,56	4	4	5
0	1	4	5	3,3333	2,50	7,50	66,67	2	3	2
1	1	3	4	6,6667	5,00	7,00	40,00	4	4	4
1	1	2	4	6,6667	7,50	6,00	-60,00	1	2	2
1	1	3	4	6,6667	4,00	7,00	50,00	4	4	4
0	1	3	3	4,1667	3,50	7,00	53,85	4	4	4
0	1	2	4	6,6667	5,50	8,50	66,67	3	4	4
0	1	2	3	4,1667	3,50	6,00	38,46	5	4	3
0	1	2	4	4,1667	3,50	6,50	46,15	2	2	2
0	1	2	3	0,833	1,50	4,50	35,29	3	4	2
0	1	2	3	6,6667	4,50	9,00	81,82	4	4	5
0	2	2	3	6,6667	4,50	8,00	63,64	4	4	5
0	2	3	5	6,6667	5,00	8,50	70,00	4	4	2
0	2	3	5	6,6667	5,50	7,50	44,44	5	5	4
0	2	3	4	7,5000	5,50	9,00	77,78	4	4	4
0	1	3	4	4,1667	3,00	7,00	57,14	4	4	2
0	2	2	3	6,6667	4,50	8,50	72,73	4	5	2
0	2	4	2	4,1667	3,50	6,50	46,15	3	3	2
0	1	4	4	3,3333	3,00	8,00	71,43	4	4	2
0	2	2	3	5,8333	5,00	8,00	60,00	3	3	1
0	1	2	3	6,6667	5,50	7,50	44,44	4	4	2
0	2	2	3	4,1667	3,50	5,50	30,77	1	3	4
0	1	3	4	5,8333	4,00	8,50	75,00	4	4	2
0	2	2	4	6,6667	4,50	7,50	54,55	4	4	2
0	2	2	3	6,6667	4,00	8,50	75,00	4	4	4
0	1	3	2	4,1667	3,00	6,00	42,86	1	2	2

0	1	2	3	7,5000	5,00	9,50	90,00	4	4	2
0	1	2	4	5,8333	5,00	7,50	50,00	2	3	4
0	2	3	4	6,6667	4,50	9,50	90,91	4	4	4
0	1	2	4	7,5000	5,50	8,50	66,67	4	4	4
0	2	3	5	5,8333	5,00	8,00	60,00	4	4	2
0	2	3	4	6,6667	5,50	7,00	33,33	4	4	2
0	2	4	4	9,1667	6,50	9,50	85,71	2	3	1
0	2	3	4	4,1667	3,00	7,50	64,29	4	4	2
0	1	3	3	5,8333	5,00	8,00	60,00	2	3	2
0	2	2	3	7,5000	5,50	9,00	77,78	4	4	4
0	2	3	4	6,6667	4,50	7,50	54,55	4	4	2
0	2	2	3	4,1667	3,50	8,00	69,23	4	4	2
1	2	4	5	2,5000	4,50	6,50	36,36	1	2	2
0	2	2	3	5,8333	5,00	7,00	40,00	3	3	4
0	2	2	3	6,6667	5,50	8,00	55,56	4	4	4
0	2	3	4	6,6667	5,50	8,50	66,67	4	4	2
0	2	2	4	4,1667	3,50	7,50	61,54	4	4	2
1	2	3	4	4,1667	0,50	5,50	52,63	3	3	2
0	2	3	3	3,3333	2,50	5,50	40,00	2	2	2
0	2	2	2	3,3333	2,50	7,50	66,67	4	3	2

▪ ENSINO POR MEIO DE JOGO COM NAVEGAÇÃO GUIADA PELO CÓRTEX ARTIFICIAL

SX	FE	GI	HA	NI	NF	GN	SA	NC	FA
1	2	3	8,3333	3,50	8,50	76,92	5	3	1
2	4	5	4,1667	2,00	8,00	75,00	5	3	2
1	2	3	6,6667	3,00	8,00	71,43	4	5	3
2	2	3	6,6667	3,00	8,00	71,43	4	4	2
2	2	3	5,8333	5,50	9,00	77,78	5	4	4
2	2	3	6,6667	4,00	8,00	66,67	4	3	3
2	3	3	5,8333	3,50	7,50	61,54	4	4	4
1	3	4	5,8333	4,00	8,00	66,67	5	4	2
1	3	3	5,8333	2,50	8,00	73,33	4	4	4
2	2	3	7,5000	5,50	9,50	88,89	3	4	1
1	2	3	4,1667	4,00	7,50	58,33	4	4	4
1	4	4	7,5000	5,00	8,50	70,00	4	3	3
2	2	3	6,6667	5,50	8,50	66,67	4	3	1
2	2	3	8,3333	4,00	7,50	58,33	4	4	4
2	2	3	8,3333	2,50	8,00	73,33	5	4	5
2	4	3	5,8333	2,00	8,00	75,00	4	4	4
2	3	3	6,6667	4,00	9,00	83,33	5	5	5
2	2	3	6,6667	5,00	9,00	80,00	4	5	4
2	2	3	9,1667	3,50	7,50	61,54	4	4	4
2	4	4	7,5000	3,00	8,50	78,57	3	3	3
2	3	3	5,8333	3,50	8,00	69,23	4	4	4
2	2	3	7,5000	3,00	8,50	78,57	4	4	2
2	5	4	6,6667	4,00	9,00	83,33	2	2	2
2	3	4	5,8333	3,00	7,50	64,29	4	4	4

1	3	3	5,8333	4,00	9,00	83,33	5	4	4
2	4	4	5,8333	3,00	8,00	71,43	3	3	1
2	2	4	6,6667	4,00	9,00	83,33	4	2	5
1	5	4	9,1667	3,50	8,00	69,23	2	2	2
2	2	3	6,6667	4,50	7,00	45,45	4	4	4
1	2	3	7,5000	3,50	8,00	69,23	3	2	4
2	2	3	6,6667	3,00	8,00	71,43	2	3	3
1	2	3	9,1667	2,00	8,00	75,00	5	5	3
2	2	4	9,1667	5,00	9,00	80,00	5	4	4
1	3	3	7,5000	4,50	8,00	63,64	3	5	5
1	2	4	6,6667	3,50	8,50	76,92	4	5	4
2	3	3	6,6667	3,50	8,50	76,92	4	4	4
1	2	3	4,1667	3,50	8,50	76,92	2	4	4
2	2	4	7,5000	3,00	7,50	64,29	4	4	4
2	3	5	4,1667	3,50	9,00	84,62	4	4	4
2	3	3	8,3333	4,00	7,50	58,33	4	4	4
1	2	3	9,1667	3,50	7,50	61,54	4	4	4
2	2	3	7,5000	3,50	9,00	84,62	4	3	5
1	2	3	7,5000	4,00	8,50	75,00	5	4	3
2	3	5	3,3333	3,50	8,00	69,23	5	5	5
1	2	3	6,6667	5,00	8,50	70,00	4	4	4
1	3	3	8,3333	2,50	8,50	80,00	4	4	4
1	2	4	5,8333	3,50	8,00	69,23	4	4	4
1	2	3	7,5000	4,00	8,50	75,00	5	4	4
2	2	3	6,6667	3,00	7,50	64,29	4	4	4
2	2	4	7,5000	3,00	7,50	64,29	4	4	4
1	2	3	7,5000	4,50	9,00	81,82	4	5	3
2	2	4	6,6667	5,50	8,50	66,67	4	4	4
2	2	3	8,3333	3,00	5,50	35,71	3	4	3
2	3	3	9,1667	3,50	7,50	61,54	4	4	4
1	2	5	7,5000	3,50	8,00	69,23	5	5	4
2	2	3	4,1667	3,50	8,00	69,23	4	4	4
2	2	3	5,8333	4,50	6,50	36,36	2	2	2
2	2	3	6,6667	3,50	8,00	69,23	5	4	5
2	3	4	7,5000	3,00	8,50	78,57	4	4	5
2	2	3	6,6667	6,00	9,00	75,00	4	4	3
1	2	3	6,6667	3,00	6,50	50,00	4	4	3
2	2	3	6,6667	4,00	9,00	83,33	2	5	3
1	3	4	5,8333	5,00	8,00	60,00	4	4	4
2	2	3	8,3333	2,00	7,50	68,75	4	4	4
1	4	3	8,3333	5,00	9,50	90,00	4	4	4
1	2	3	1,6667	3,50	6,50	46,15	3	4	2
2	2	3	6,6667	3,50	8,50	76,92	5	4	4
1	2	3	6,6667	3,50	9,00	84,62	4	4	3
2	3	3	6,6667	0,50	8,50	84,21	3	4	2
2	2	3	6,6667	3,00	7,00	57,14	4	4	4
2	3	3	6,6667	4,50	8,00	63,64	4	4	4
1	2	3	6,6667	4,00	7,50	58,33	4	4	4
2	3	3	7,5000	3,50	10,00	100,00	4	4	4
1	4	3	6,6667	2,50	8,00	73,33	3	4	2
1	3	4	4,1667	3,50	8,00	69,23	5	5	5

2	2	2	6,6667	3,00	7,00	57,14	4	4	5
1	3	3	7,5000	3,00	9,00	85,71	4	4	4
2	3	3	7,5000	2,50	8,00	73,33	4	4	5
1	3	3	6,6667	3,50	8,00	69,23	4	4	4
1	3	4	6,6667	3,50	8,00	69,23	5	5	5
1	2	2	4,1667	2,50	7,00	60,00	4	4	4
1	4	3	0,8333	5,00	8,00	60,00	4	3	3
2	2	3	7,5000	2,50	8,50	80,00	5	5	5
2	2	2	4,1667	2,00	5,00	37,50	2	2	4
1	3	4	7,5000	4,00	8,00	66,67	5	5	4
1	4	3	6,6667	5,50	8,00	55,56	4	4	5
2	3	4	6,6667	4,50	8,00	63,64	4	5	4
2	3	5	7,5000	5,50	8,50	66,67	3	4	3
2	4	3	8,3333	4,50	6,00	27,27	2	4	3
2	4	5	6,6667	3,00	7,50	64,29	4	4	4

GANHO X EFICIÊNCIA NOS CICLOS DE 1 A 3

CICLO 1		CICLO 2		CICLO 3	
E	GN	E	GN	E	GN
51,28	76,92	39,13	52,67	50,25	61,66
47,37	75,00	40,00	66,00	50,49	65,15
47,37	71,43	40,70	35,00	51,52	63,12
46,15	71,43	41,53	43,00	51,86	78,00
51,85	77,78	41,80	56,00	52,60	75,00
45,00	66,67	42,39	54,54	52,60	81,00
42,86	61,54	42,39	55,00	53,71	73,00
42,86	66,67	43,29	58,00	54,54	68,94
50,00	73,33	43,29	59,00	54,88	65,65
59,26	88,89	43,96	60,00	55,62	70,91
40,00	58,33	43,96	61,54	56,00	78,78
46,67	70,00	43,96	66,67	56,10	68,94
41,86	66,67	43,96	71,43	56,10	70,91
38,89	58,33	43,96	61,54	57,53	72,72
48,65	73,33	44,23	66,67	57,55	81,00
52,94	75,00	45,22	68,94	57,56	80,00
58,06	83,33	45,22	70,91	58,71	83,89
53,33	80,00	46,00	69,00	60,00	77,00
41,03	61,54	46,37	72,72	60,11	72,72
52,38	78,57	46,38	72,72	60,11	85,00
46,15	69,23	46,39	72,72	60,11	75,97
52,38	78,57	47,00	70,91	60,11	75,97
60,00	83,33	47,32	78,78	61,58	70,91
42,86	64,29	48,45	72,72	61,58	72,32
62,07	83,33	48,45	78,78	61,58	73,18
41,86	71,43	48,45	75,97	61,58	78,78
64,29	83,33	48,45	75,97	61,58	81,25
46,15	69,23	48,45	75,97	61,58	81,81
36,00	45,45	48,45	75,97	62,00	75,97
43,90	69,23	48,45	75,97	62,07	83,33

46,15	71,43	49,63	69,23	62,07	84,62
50,00	75,00	49,63	73,33	62,34	81,12
53,33	80,00	49,63	75,00	62,34	81,60
42,86	63,64	49,63	73,33	63,12	82,08
51,28	76,92	49,63	75,20	63,12	82,19
51,43	76,92	49,65	84,41	64,12	83,33
52,94	76,92	50,00	75,20	64,16	85,00
42,86	64,29	50,24	78,78	64,20	81,81
56,41	84,62	50,24	78,78	64,24	82,15
38,89	58,33	50,87	75,00	64,28	82,00
41,03	61,54	50,87	73,35	64,32	84,41
62,07	84,62	50,87	73,59	64,73	84,41
47,37	75,00	51,00	73,83	64,73	84,41
46,15	69,23	51,00	74,07	65,00	85,63
46,67	70,00	52,17	74,31	65,25	86,66
53,33	80,00	52,17	74,55	65,30	88,63
42,86	69,23	52,17	74,79	65,45	82,72
50,00	75,00	52,17	75,03	65,76	84,41
42,86	64,29	52,17	75,27	66,44	84,41
42,86	64,29	52,17	75,51	66,44	88,63
54,55	81,82	52,17	75,75	66,48	81,81
43,90	66,67	52,17	75,99	68,23	86,66
36,00	35,71	52,17	76,23	68,23	88,63
41,03	61,54	52,17	76,47	70,13	86,66
46,15	69,23	52,17	80,00	70,13	90,00
45,00	69,23	52,17	81,81	73,00	90,05
36,73	36,36	52,63	85,00	73,00	90,15
46,15	69,23	52,63	86,00	74,10	90,13
52,38	78,57	52,63	87,15	74,15	90,19
48,65	75,00	52,75	88,64	74,25	90,23
48,65	50,00	52,75	82,72	74,36	90,27
51,43	83,33	53,00	81,81	74,46	94,54
40,00	60,00	53,00	72,00	74,56	94,54
43,90	68,75	53,55	88,63	74,66	94,54
66,67	90,00	53,55	70,08	75,00	98,48
37,50	46,15	53,55	71,01	77,00	98,00
51,28	76,92	53,55	71,93	78,00	86,66
60,00	84,62	53,55	73,15	78,15	91,16
56,25	84,21	54,99	73,20	80,00	92,85
37,50	57,14	54,99	75,00	81,44	98,48
43,90	63,64	54,99	73,33	83,13	100,00
38,89	58,33	54,99	86,66	83,55	90,00
69,23	100,00	54,99	88,63	84,33	92,85
48,65	73,33	54,99	75,00	84,33	94,54
46,15	69,23	54,99	78,00	86,48	92,85
38,30	57,14	55,00	80,00	86,48	94,54
50,00	85,71	56,16	82,00	86,48	95,66
50,00	73,33	56,27	88,63	86,48	94,54
47,37	69,23	56,38	88,63	86,48	94,54
46,15	69,23	56,49	87,00	86,48	97,00
43,90	60,00	56,60	85,00	86,48	96,69

40,00	60,00	56,72	85,10	86,48	96,69
53,33	80,00	56,83	85,14	86,48	96,69
36,73	37,50	56,94	86,00	86,48	96,69
44,44	66,67	56,52	86,66	86,48	100,00
39,13	55,56	57,97	85,10	86,48	100,00
43,90	63,64	57,97	86,12	86,48	100,00
44,44	66,67	57,97	86,23	86,48	100,00
34,62	27,27	57,97	86,34	86,48	100,00
42,86	64,29	57,97	86,45	86,70	100,00
		57,97	86,56	87,00	100,00
		58,00	86,67	90,00	100,00
		58,12	86,78	93,45	100,00
		58,14	86,89	93,45	100,00
		58,61	87,00	94,00	100,00
		58,61	87,11	94,00	100,00
		59,85	87,22	95,11	100,00
		59,85	87,33	95,31	100,00
		60,00	87,44	95,51	100,00
		60,15	84,53	95,33	100,00
		60,23	83,00	95,15	100,00
		60,23	84,33		
		60,29	87,00		
		60,35	87,78		
		60,41	88,13		
		60,47	88,23		
		60,53	88,47		
		61,00	88,63		
		61,66	88,69		
		61,66	87,00		
		65,64	88,63		
		65,64	89,30		
		67,00	95,00		
		71,50	97,00		
		72,67	98,48		
		75,00	95,00		
		78,36	100,00		
		80,99	100,00		
MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
47,34	69,32	53,60	78,29	71,64	86,94