

**GIL MARCOS JESS**

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E TECNOLOGIAS DA INTELIGÊNCIA – UM REPENSAR  
SEGUNDO OS PROCESSOS DE ELABORAÇÃO MATEMÁTICA.**

**Curitiba – Paraná  
2004**

**GIL MARCOS JESS**

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E TECNOLOGIAS DA INTELIGÊNCIA – UM REPENSAR  
SEGUNDO OS PROCESSOS DE ELABORAÇÃO MATEMÁTICA.**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Educação, Linha de pesquisa: Educação Matemática, do Programa de Pós-Graduação em Educação/Mestrado, Setor de Educação, Universidade Federal do Paraná.

Orientador:  
Professor Doutor Alexandre L. Trovon de Carvalho

Curitiba – Paraná

2004

"As teses de matemática não são certas quando relacionadas com a realidade, e, enquanto certas, não se relacionam com a realidade". Albert Einstein

"O pensamento lógico pode levar você de A a B, mas a imaginação te leva a qualquer parte do Universo." Albert Einstein

## **AGRADECIMENTOS**

A minha esposa Luciane, com quem tenho a sorte de contar não só como esposa, mas também como colega de linha de pesquisa e de turma, por todo o incentivo, compreensão e crédito.

Aos meus filhos Thaís e Thiago, pela paciência, dispensada ao longo desse trabalho.

Ao professor Alexandre Trovon, que além de orientador se mostrou um grande amigo.

A todos aqueles que mesmo quando manifestaram sua discordância quanto a certas premissas norteadoras desse trabalho acabaram contribuindo para comprovar uma delas, a de que o conhecimento se faz na busca por certezas, mas centradas nos conflitos e nas discórdias inerentes a natureza humana.

## RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo bibliográfico de caráter qualitativo acerca dos Sistemas Tutorias Inteligentes, apresentando sua evolução no contexto histórico e analisando sua constituição e bases de estruturação.

O objetivo principal é apresentar uma proposta de encaminhamento para a reformulação desses sistemas. Para tal procura-se estabelecer uma análise acerca dos modelos que o constituem bem como das Tecnologias da Inteligência que regulam a Inteligência Artificial presente neles. Esta proposta foi estabelecida levando-se em conta uma análise da lógica que permeia os fundamentos do raciocínio matemático.

Palavras chave: Inteligência Artificial, Tecnologias da Inteligência, Sistemas Tutorias Inteligentes. Raciocínio Matemático.

## ABSTRACT

This work presents the results from a bibliographic study, of a qualitative character, about the Tutorial Intelligent Systems, presenting their evolution in the historical context and analyzing their foundations and the bases for their structure.

The main purpose is to present a proposal leading to the reformulation of these systems. To do this one tries to establish an analysis for the models that integrate them as well as the Intelligence Technologies that regulate the Artificial Intelligence present inside the systems. This proposal was established taking into account an analysis of the logics that intersperse the foundations of the mathematical reasoning.

Keywords: Artificial Intelligence, Intelligence Technologies, Tutorial Intelligent Systems. Mathematical Reasoning.

## RÉSUMÉ

Ce travail présente les résultats d'une étude bibliographique, d'un caractère qualitatif, au sujet des Systèmes Intelligents d'Instruction, présentant leur évolution dans le contexte historique et analysant leurs fondement et les bases pour leur structure.

Le but principal est de présenter une proposition menant à la reformulation de ces systèmes. Pour faire ça on essaye d'établir une analyse pour les modèles qui les intègrent aussi bien que les technologies d'intelligence qui règlent l'intelligence artificielle actuelle à l'intérieur des systèmes. Cette proposition a été établie tenant compte d'une analyse des logiques qui entremêlent les bases du raisonnement mathématique.

Mots-clés: Intelligence Artificielle, Technologies D'Intelligence, Systèmes Intelligents D'instruction. Raisonnement Mathématique.

## ZUSAMMENFASSUNG

Diese Arbeit stellt die Resultate von einer bibliographischen Studie, eines qualitativen Buchstabens, über die intelligenten Tutorsysteme dar, stellt ihre Entwicklung im historischen Kontext dar und analysiert ihre Grundlagen und die Unterseiten für ihre Struktur.

Der Hauptzweck ist, einen Antrag darzustellen, der zu die Neuformulierung dieser Systeme führt. Dieses zu tun versucht eine Analyse für die Modelle herzustellen die sie sowie die Intelligenz-Technologien integrieren die die künstliche Intelligenz regulieren, die innerhalb der Systeme vorhanden ist. Dieser Antrag wurde eine Analyse der Logik in Betracht ziehend hergestellt, die die Grundlagen der mathematischen Argumentation vermischen.

Schlüsselwörter: Künstliche Intelligenz, Intelligenz-Technologien, Intelligente Tutorsysteme. Mathematische Argumentation.

## **SUMÁRIO**

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Minhas Inquietações	11
1.1.1 O software em sua fase final	14
1.2 Delimitação do problema	15
1.3 Os objetivos	17
2. OS SISTEMAS TUTORIAIS INTELIGENTES	18
2.1 Histórico da Inteligência Artificial	19
2.2 As Redes Neurais	24
2.3 A Inserção do Computador no Processo de Ensino-Aprendizagem	36
2.4 Uma descrição mais detalhada dos Sistemas Tutoriais Inteligentes	43
2.5 Um detalhamento dos componentes da arquitetura básica de um STI	54
2.6 As Novas Tecnologias	62
3. INTELIGENCIA ARTIFICIAL, LÓGICA E ALGUMAS CONSIDERAÇÕES	70
3.1 A Inteligência Artificial	70
3.2 A Lógica	77
3.3 Algumas Considerações	85
4. UM REFERENCIAL DE IMPLEMENTAÇÃO - OS AUTORES E SUAS IDÉIAS	87
4.1 Pierre Lévy	87
4.1.1 Suas Idéias	89
4.1.2 O Hipertexto	94
4.1.3 Cibercultura	100
4.2 TIKHOMIROV	101
5. CONCLUSÃO	109
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
ANEXO I	119
ANEXO II	124

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes de um Neurônio Biológico.	27
Figura 2: Carga Elétrica.	28
Figura 3: O processo de transmissão de impulsos nervosos entre n	28
Figura 4: Passagem do impulso.	29
Figura 5: Máquina de Von Neumann.	31
Figura 6: Modelo Neural.	33
Figura 7: Neurônio de McCulloch – Pitts.	34
Figura 8: Conexão Sináptica Artificial.	35
Figura 9: Arquitetura de um STI, segundo McTAGGART.	46
Figura 10: Arquitetura de um STI, segundo KAPLAN.	47
Figura 11: Arquitetura de um STI, segundo Clancey.	47
Figura 12: Arquitetura de um STI, segundo Wenger.	48
Figura 13: Divisão clássica de um STI, apresentada por Wenger.	49
Figura 14: Representação do domínio de uma aplicação dos STIs segundo Kearsley.	51
Figura 15: Áreas de Pesquisas Ativas segundo Woolf (1988).	52
Figura 16: A estrutura de uma Rede Conceitual.	97
Figura 17: O Hipertexto na tela do computador.	98
Figura 18: Relacionamento mediado entre sujeito e objeto no nível individual.	106
Figura 19: Bond of Union	113
Figura 20: Drawing Hands	113
Figura 21: Os primeiros softwares.	119
Figura 22: Os primeiros softwares.	119
Figura 23: Os primeiros softwares.	120
Figura 24: O aprimoramento técnico.	120
Figura 25: O aprimoramento técnico.	121
Figura 26: O aprimoramento técnico.	121
Figura 27: Os sinais de melhora.	122
Figura 28: Os sinais de melhora.	122
Figura 29: Os sinais de melhora.	123
Figura 30: A determinação do centro de massa.	124
Figura 31: O ícone de execução.	124
Figura 32: A tela inicial.	125
Figura 33: As funções de cada botão.	125

Figura 34: Gerando valores aleatórios.	126
Figura 35: A entrada manual de valores.	126
Figura 36: Efetuando os cálculos.	127
Figura 37: Os resultados.	127
Figura 38: Retornando à entrada de valores.	128
Figura 39: As informações sobre o autor.	128
Figura 40: As informações sobre o autor.	129
Figura 41: O alerta sobre a entrada correta de dados.	129
Figura 42: Encerrando a execução.	130
Figura 43: A saudação final.	130
Figura 44: A apresentação do gráfico.	131
Figura 45: Configurando o programa.	131
Figura 46: As opções para a representação gráfica.	132
Figura 47: Os resultados e o gráfico.	132
Figura 48: A mudança na escala.	133
Figura 49: Manipulando o gráfico com o uso do mouse.	133
Figura 50: Os resultados e sua representação gráfica.	134
Figura 51: As possibilidades de escolha do assunto.	134
Figura 52: A escolha dos itens.	135
Figura 53: A mostra dos itens.	135
Figura 54: Novos itens.	136
Figura 55: A entrada de dados para o item escolhido.	136
Figura 56: Uma nova escolha.	137
Figura 57: O novo cálculo.	137
Figura 58: Mudando a posição do eixo.	138
Figura 59: Retornando ao menu principal.	138

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Minhas Inquietações

Meu primeiro contato com um equipamento eletrônico relacionado à informática se deu ainda na década de 70, quando fui presenteado em um Natal com um “videogame” da época, o Tele-Jogo II da Philco. Um aparelho onde os jogos eram previamente programados e constituídos basicamente de filetes luminosos que eram projetados na tela da TV e que faziam o papel dos “jogadores” de esportes como o futebol o tênis e outros. Foi o que bastou, a partir daí meu fascínio por equipamentos desse tipo só fez crescer. Anos mais tarde, já na universidade e cursando engenharia, surgiu a necessidade de adquirir uma boa calculadora, foi quando adquiri uma Sharp PC 2100, que era totalmente programável em uma linguagem nova, para a época, o “Basic”.

Foi então que dei meus primeiros passos na “arte” da programação. Foi assim criando joguinhos, inventando pequenos programas para resolver equações que o meu fascínio continuou a crescer.

Nessa mesma época, ainda na faculdade de engenharia, fui convidado por alguém para dar aulas. Filho e neto de professoras parece que o sangue falou alto, fui logo aceitando e desde então nunca mais deixei a sala de aula. Anos mais tarde resolvi voltar a estudar, só que agora no curso de licenciatura em matemática. Uma tentativa de aprimorar meus conhecimentos e aprender novos caminhos para o exercício do magistério. Durante todos esses anos, muitas experiências acumuladas, e eu ainda continuava, e continuo em busca de formas para melhorar ainda mais a minha prática de ensinar.

Formei-me e aí veio a pós-graduação, junto com ela a necessidade de desenvolver uma monografia, e que momento melhor para tentar ligar minhas duas maiores paixões, o magistério e a informática. Desenvolvi então meu trabalho cujo título era “A informática na Educação”. Um tema com certeza bastante amplo, mas que carregava consigo a esperança de quem queria, e achava que poderia “modificar o mundo”, pelo menos na área da educação, justamente por acreditar que toda e qualquer ferramenta nessa área pode ser útil e deve ser utilizada desde que estruturada em boas estratégias e empregada de forma adequada.

Depois disso tive, e continuo tendo, a oportunidade de lecionar na mesma instituição de ensino superior em que havia alcançado minha graduação e minha pós-graduação. Por sorte, ou por acaso, o curso em que mais concentro minhas aulas é o de Engenharia de Computação.

Venho, deste então, dentro de minhas disciplinas, desenvolvendo vários projetos que visam a criação de softwares capazes de consolidar e facilitar ao máximo a uma tentativa de aquisição, por parte dos alunos, do conteúdo a ser estudado.

As disciplinas com que venho trabalhando ao longo desses anos vêm se revelando como aquelas que integram um grupo que costuma representar para os alunos as maiores dificuldades em termos de aprendizagem. São elas as ligadas essencialmente à Matemática, dentre as quais o Cálculo Diferencial e Integral, a Geometria Analítica, a Álgebra, a Física e até mesmo o Desenho, quer visto de forma Técnica quer visto como Geometria Descritiva.

Mas foi dentro do ensino da Física, como uma forma de aplicação da Matemática, que os principais fatos se revelaram. Parece existir, por parte dos alunos, uma enorme dificuldade para interpretar os problemas propostos dentro das mais diversas partes dessa disciplina (Mecânica, Termologia, Eletricidade, Eletromagnetismo, Física Moderna, etc). Essas dificuldades são demonstradas principalmente no que diz respeito à interpretação dos problemas propostos.

Com a intenção de minimizar essas dificuldades venho procurando ao longo dos anos usar de métodos alternativos.

Minhas primeiras iniciativas passaram a incorporar o uso do computador como forma de apresentar os conteúdos aos alunos, tentando fazer com que através do uso de ferramentas de apresentação associadas a um conjunto de animações, o conteúdo pudesse ser visualizado de uma forma mais interessante e significativa. Além de revelar certos fatos que antes só eram realmente identificados com um grande esforço de abstração por parte dos alunos.

Em função das melhorias apresentadas, a idéia foi procurar aprimorar ainda mais aquilo que vinha sendo feito. Para tal o passo seguinte foi ampliar o uso do computador, fazendo com que ele deixasse de ser uma mera ferramenta de apresentação e passasse a incorporar um papel mais importante no processo, para tal passei a fazer uso de softwares educativos, produzidos especificamente para determinadas aplicações, como o Interactive Physics, e outros.

Melhorias foram percebidas, mas parece que ainda estava faltando alguma coisa, visto que o aluno participava do processo de uma forma bastante passiva, apesar de todos os softwares apregoarem a idéia de interatividade. Surgiu então a idéia de tentar estimular os alunos a que eles próprios criassem os programas que os levassem à resolução de seus problemas.

Numa primeira fase passamos a utilizar diversos softwares de autoria com o propósito de criar um programa capaz de propor e resolver problemas semelhantes aos que resolvíamos em sala. O resultado mostrou-se ainda melhor do que o que havíamos conseguido com os softwares educativos. Mas com o tempo foi possível perceber que várias limitações se faziam impor.

Surgiu então, a idéia de aproveitar o perfil de meus alunos de estudantes de um curso da área de informática de convedores de linguagens de programação e iniciar um processo de criação e softwares capazes de se enquadrar como softwares de resolução de problemas. Numa primeira etapa passei a desenvolver um trabalho com alunos do primeiro período do curso de engenharia da computação. Enfrentávamos problemas físicos para, por exemplo, determinar o centro de massa e ou o centro de gravidade de uma partícula. Passamos a produzir softwares capazes, quando corretamente alimentados, de permitir a diversificação das variáveis envolvidas no problema indicando, quais se comportariam como dados do problema e quais deveriam ser encontrados como forma de resultado da solução dos mesmos.

A partir desse processo, em que os primeiros softwares desenvolvidos apresentavam-se com forma de uma tela preta onde surgiam, frases escritas indicando a solicitação de entrada de dados para a posterior apresentação de respostas que surgiam na tela de uma forma também nem um pouco atrativas como mostram as figuras 21, 22 e 23, colocadas no anexo I.

A partir daí passou-se a desenvolver o trabalho também com vistas a um aprimoramento técnico e também visual dos softwares com o objetivo de tornar o trabalho mais interessante e eficaz. A seqüência das figuras 24, 25 e 26 do anexo I tenta retratar parte dessa evolução.

Os sinais de melhora já começam a ficar ainda mais evidentes após algum tempo, como ilustram as figuras 27,28 e 29 também do Anexo I. E com o tempo se conseguiu chegar a uma forma bem mais definida e evoluída.

### **1.1.1 O software em sua fase final:**

Consiste em um executável que roda em modo Windows, gerando uma tela como mostram as figuras e comentários do anexo II.

Ao longo de todo esse processo evolutivo uma das coisas que mais se evidenciou foi que quanto mais dotado de “inteligência” ficava o software maiores chances de sucesso ele era capaz de alcançar. Ficaram bastante evidentes também as falhas que esse tipo de software pode apresentar, principalmente demonstradas quando algum tipo de ação inesperada é praticada por parte do aluno e também pela ineficácia demonstrada em adotar diferentes estratégias quando diferentes (alunos) usuários interagem com o sistema.

Em função disso passei a investigar de que forma seria possível levar em conta o perfil do aluno que viria a interagir com o sistema, procurar por algo que permitisse buscar atingir um aperfeiçoamento que não fosse só visual ou técnico, mas principalmente pedagógico. Foi então que acabei tomando conhecimento da existência dos STIs (Sistemas Tutoriais Inteligentes).

Aliando as experiências que acumulei ao longo dos últimos dez anos trabalhando dessa forma, bem como os estudos em paralelo que vim desenvolvendo até então, despertei ainda mais o interesse em elaborar esse projeto de conhecer bem a fundo a estrutura, detalhes e segredos dos softwares e das técnicas baseadas em inteligência artificial como no caso dos STIs (Sistemas Tutorias Inteligentes) e que possam ser empregados como ferramentas para melhorar a qualidade do ensino que pratico, bem como compartilhar tais detalhes para que outros possam se valer deles com o intuito de promover um melhor desenvolvimento no processo ensino-aprendizagem despertando em seus alunos suas capacidades de: raciocínio, criação, interesse e motivação.

## 1.2 Delimitação do problema

A incorporação das novas tecnologias no processo de ensino-aprendizagem só faz sentido se contribuir para a melhoria da qualidade do mesmo. A simples presença das novas tecnologias não é, por si só, garantia de qualidade na educação. A concepção de ensino e aprendizagem revela-se na forma de como estes instrumentos são utilizados na prática. A tecnologia deve servir para enriquecer o ambiente educacional, propiciando a construção do conhecimento.

Em um momento em que as novas tecnologias de comunicação e de informação revolucionam de inúmeras formas o mundo, o ensino não pode permanecer alheio e ser exceção à regra.

As facilidades criadas pela tecnologia tornam o acesso às informações cada vez mais rápido e democrático. Permanecendo como um dos grandes desafios dessa era tecnológica o como utilizar esses recursos de maneira adequada, exigindo por parte dos educadores a criação e adoção de novas metodologias de ensino que facilitem e se moldem ao desenvolvimento de habilidades e procedimentos capazes de permitir ao educando uma melhor orientação no mundo do conhecimento que se encontra em constante evolução.

Motivado pelo avanço da tecnologia e surgimento de jogos e softwares desenvolvidos com base em inteligência artificial a escolha do tema se deu porque:

*“O principal objetivo da educação é criar homens que sejam capazes de fazer novas coisas e não simplesmente repetir o que outras gerações fizeram; homens que sejam criativos, inventores e descobridores. O segundo objetivo da educação é formar mentes que possam ser críticas, que possam analisar e não aceitar tudo que se lhes é oferecido”. (Piaget, 1984);*

Se abordarmos o conceito de inteligência, veremos que é um conceito relativo à construção de estruturas cognitivas do ser humano, responsável pela formação da razão, característica peculiar frente aos demais animais. Como o ser humano é o único animal racional, diz-se que ele é o único ser inteligente. Mas o que significaria Inteligência Artificial, então?

Há estudos que atribuem o conceito de inteligência a outros animais e vegetais. Mas obviamente não é um conceito comparável ao da inteligência humana. É isso sim, um conceito relativo à análise em questão: esta inteligência irracional seria a capacidade de adaptação de

um ser vivo às circunstâncias de seu meio. Desta forma, poderemos utilizar este conceito para a máquina, definindo, então, uma *inteligência de máquina*.

Esta inteligência seria a sua “capacidade genética” para solucionar problemas. Por capacidade genética entenda-se todo o conhecimento embutido em nível de hardware, o que permite um determinado conjunto de estados possíveis de funcionamento através de programas. A inteligência de máquina seria, então, um tipo de inteligência construída pelo homem. Portanto, uma inteligência artificial. Mas o conceito de Inteligência Artificial (IA) abrange mais do que a inteligência de máquina. Pretende-se, com ela, capacitar o computador de um *comportamento inteligente*. Por comportamento inteligente devemos entender atividades que somente um ser humano seria capaz de efetuar. Dentro destas atividades podem ser citadas aquelas que envolvem tarefas de raciocínio (planejamento e estratégia) e percepção (reconhecimento de imagens, sons, etc.), entre outras.

Assim, considerando a necessidade da utilização de recursos e meios tecnológicos avançados capazes de atuar como “ingrediente” facilitador do processo ensino-aprendizagem e entendendo a Matemática como ciência dinâmica, faz-se necessário conhecer melhor os caminhos propostos por tais recursos.

Surge então a proposta de investigar os STI (Sistemas Tutoriais Inteligentes) voltados para o ensino da matemática.

Os STI são programas de computador que fazem uso da Inteligência Artificial para representar o conhecimento e proporcionar maior interação com o aluno.

Assim, considerando a necessidade da utilização de recursos e meios tecnológicos avançados capazes de atuar como “ingrediente” facilitador do processo ensino-aprendizagem e entendendo a Matemática como ciência dinâmica, faz-se necessário conhecer melhor os caminhos propostos por tais recursos.

A idéia consiste em desenvolver um trabalho capaz de esclarecer como é um STI no contexto da Educação Matemática, com o propósito de elaborar uma proposta de desenvolvimento para os mesmos, mas com base em uma teoria capaz de fundamentá-los.

Uma teoria que seja capaz de esclarecer questões como o que dizer, exatamente, das possibilidades dos computadores atuais? Estes constituem ou não “máquinas de fazer tudo”?

Tratam-se de máquinas concebidas à imagem do cérebro humano, máquinas aptas a executarem todas as espécies de tarefas da inteligência humana? São eles e seus softwares, principalmente os desenvolvidos com base na inteligência artificial (STIs) capazes de contribuir, e de que forma no ensino da matemática?

### **1.3 Os objetivos**

- 1) Descrever em detalhes um STI, com base na bibliografia existente.
- 2) Analisar referencias teóricos que contribuam para uma proposta de desenvolvimento alternativo para os STIs, tendo como base a analise construída a partir de sua descrição, de forma a permitir que os principais problemas detectados possam vir a ser contornados. Tal proposta deverá centrar-se em teorias e princípios capazes de direcioná-la para o contexto da Educação Matemática.

## 2. OS SISTEMAS TUTORIAIS INTELIGENTES

A inserção desse item, objetiva nos levar a compreender o processo histórico evolutivo até o surgimento dos STIs, bem como nos levar a uma compreensão básica e inicial a respeito de sua estrutura.

O processo de informatização do ensino era visto, no início, como um processo de informatização dos serviços administrativos e gerenciais das escolas, envolvendo cadastro dos alunos, histórico escolar, impressão dos cadernos de freqüência, provas e controle de freqüência dos professores. Mesmo assim, hoje em dia ainda se encontram problemas administrativos cujas soluções não foram implementadas, como por exemplo, a geração de horários e turmas das disciplinas.

Posteriormente, deu-se inicio à utilização da informática na educação propriamente dita, dando origem a um novo estágio deste processo. Neste período, havia a preocupação de evitar que o computador substituisse o professor. O objetivo principal era utilizá-lo como instrumento didático para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem.

Pode-se, então destacar fases da utilização do computador no ensino, o que aponta para dois possíveis enfoques no que se relaciona ao uso das tecnologias na sala de aula. O primeiro deles diz respeito à utilização do computador como uma ferramenta capaz de ajudar o aluno no desenvolvimento do raciocínio e da inteligência. Já a segunda, aborda a evolução da utilização das tecnologias pelo professor na elaboração e apresentação de suas aulas. Visto que a maior parte dos softwares desenvolvidos com o objetivo de usar o computador como ferramenta para ajudar o aluno faz uso de alguma forma de inteligência artificial, faz-se necessário conhecê-la melhor.

## 2.1 Histórico da Inteligência Artificial

A Inteligência Artificial (IA) não é recente, sua história tem início nos idos dos anos 40, onde havia alguma pesquisa em torno de seqüências de estratégia e análise do funcionamento do cérebro com objetivos de formalização de seu comportamento. Estes dois ramos de pesquisa eram dissociados entre si, sem nenhuma preocupação com a construção de uma Inteligência Artificial. Buscava-se apenas por novas alternativas para a utilização do computador, ainda em projeto.

Segundo Barr e Feigenbaum (1982) as idéias que se formavam em torno da IA já estavam em gestação desde os anos 30. No entanto, segundo McCorduck, oficialmente, a IA nasceu em 1956 com uma conferência de verão em Dartmouth College, NH, USA. Na proposta dessa conferência, escrita por John McCarthy (Dartmouth), Marvin Minsky (Harvard), Nathaniel Rochester (IBM) e Claude Shannon (Bell Laboratories) e submetida à fundação Rockefeller, consta a intenção dos autores de realizar “um estudo durante dois meses, por dez homens, sobre o tópico inteligência artificial”. Ainda segundo McCorduck, esta parece ser a primeira citação oficial em que aparece a expressão “Inteligência Artificial”.

Desde o início, a IA gerou polêmica, começando pelo próprio nome, que alguns consideram presunçoso demais, até a definição de seus principais objetivos e metodologias. O fato de serem desconhecidos os princípios que fundamentam a inteligência, por um lado, e os limites práticos impostos à capacidade de processamento dos computadores, por outro, levou a situação a um conjunto de promessas exageradas e fatalmente a correspondentes decepções. Visto a impossibilidade de uma definição formal e mais precisa para IA, já que para tanto seria necessário definir, primeiramente, a própria inteligência, foram propostas algumas definições que podem se compreendidas como operacionais. Como, por exemplo, a feita por McCarthy e Hayes (McCARTHY; HAYES, 1969): “uma máquina é inteligente se ela é capaz de solucionar uma classe de problemas que requerem inteligência para serem solucionados por seres humanos”. Ou ainda a elaborada por Barr e Feigenbaum (FEIGENBAUM; BARR, 1982): “Inteligência Artificial é a parte da ciência da computação que comprehende o projeto de sistemas computacionais que exibam características associadas, quando presentes no comportamento humano, à inteligência”; ou ainda por Charniak e McDermott (1985): “Inteligência Artificial é o estudo das faculdades mentais através do uso de modelos computacionais”.

Outros autores como Winston (1984) se recusam a propor uma definição para o termo, preferindo citar os objetivos da IA: “tornar os computadores mais úteis e compreender os princípios que tornam a inteligência possível”.

Com o passar do tempo, foram se destacando duas linhas de pesquisa: uma biológica, centrada em torno do funcionamento do cérebro e dos neurônios; e uma outra, fruto do estudo da cognição, do raciocínio.

#### a) Nos anos 40

Temos a segunda grande guerra mundial. Cria-se a necessidade do avanço tecnológico para fornecer mais equipamentos para o combate bélico. O dinheiro de pesquisas científicas está à disposição dos cientistas que tenham preocupação em desenvolver mecanismos de devastação em massa, de modo a fazer com que a guerra seja ganha pelo poder tecnológico. A arma mais eficaz idealizada nessa época (que matava mais gente em menos tempo) era a bomba atômica, mas para seu desenvolvimento era necessária uma quantidade enorme de cálculos, e que, acima de tudo, deveriam ser precisos.

Neste contexto, e para viabilizar tais cálculos que levassem à produção da bomba atômica, foi desenvolvido o computador. Como diz seu nome, uma máquina de fazer cálculos (cálculos). Mas não somente para cálculos, o computador foi também utilizado em outros recursos voltados à devastação em massa como: o planejamento de ações estratégicas de exércitos. Simulações acerca do avanço de tropas passaram a ser viáveis com a simples inserção das variáveis envolvidas na ação, permitindo assim a elaboração automática de diversas hipóteses de estratégias. Como em um jogo de guerra, combinações de possibilidades eram simuladas. Foi aí que tiveram início os jogos por computador, utilizados também para situações mais reais além de jogos de dama e xadrez. Tem-se início a idéia de utilização da inteligência artificial tradicional, baseada em regras.

De outro lado, havia outro ramo de pesquisa interessado na realização da representação das células nervosas do ser humano no computador, uma vez que o cérebro é formado de neurônios sendo ele quem realiza o processamento das informações do corpo. Esta linha de pesquisa motivou o desenvolvimento de uma formalização matemática para o neurônio. Estabelecendo a idéia do neurônio formal.

Esta formalização permitiu a realização de diversas concepções matemáticas sobre a forma de aprendizado dos neurônios, ou seja, de que forma os neurônios são capazes de armazenar informações. Isso levou, na década seguinte, à criação de modelos de redes de neurônios artificiais. Ou também conhecidas simplesmente como redes neurais.

### b) Nos anos 50

Nesta década iniciou-se o estudo, na linha de pesquisa psicológica, da utilização da lógica de estratégia para finalidades matemáticas, como a prova de teoremas. Teve início também a modelagem através de regras de produção, regras estas baseadas na lógica de predicados.

A introdução da programação através de comandos de lógica de predicados proporcionou um grande avanço para a programação de sistemas que utilizassem esquemas de raciocínio. A partir daí foi possível o aperfeiçoamento do que já existia: jogos, aplicações matemáticas e até mesmo dos simuladores. O avanço foi tanto que acabou criando grande euforia nos anos 60, diante do potencial tecnológico vislumbrado.

Já, do lado da história da linha biológica, esta década foi de grande sucesso dada a implementação do primeiro simulador de redes neurais artificiais e do primeiro neurocomputador. A partir do modelo matemático de MacCulloch e Pitts (1943) e de uma teoria de aprendizado proposta por Donald Hebb (1949), foi possível nesta década a união desses conhecimentos no modelo de rede neural artificial chamado Perceptron.

### c) Nos anos 60

Na linha biológica, prosseguiram os desenvolvimentos de conceitos relativos às redes neurais artificiais com o aprimoramento do modelo Perceptron e o surgimento de uma variante, o *Adaline*. Ambos utilizavam as mesmas idéias de rede, porém a lógica de aprendizado os diferenciava.

Para a linha psicológica esta década foi a da verdadeira descoberta da Inteligência Artificial. Utopicamente, os pesquisadores desta linha acreditavam ser possível realizar tarefas humanas, tais como o pensamento e a compreensão da linguagem, através do computador.

Realmente acreditava-se ser possível a reprodução pura e simples do raciocínio humano no computador. Neste caminho, foi tentada a interpretação da linguagem no computador, tal como compreendida pelo ser humano. No ímpeto da racionalização imposta pelo desenvolvimento de suas pesquisas, acreditaram que apenas através do raciocínio seria possível a interpretação da linguagem. Obviamente a linguagem humana não é fruto apenas da razão, mas de todo um aparato sensorial e lógico pertencente a ele.

Por outro lado, em 1969, Marvin Minsky e Sigmour Papert publicaram um livro denominado Perceptrons, cujo objetivo principal era ridicularizar as pesquisas em torno das redes neurais artificiais. Eles sustentavam a hipótese de que os modelos apresentados não tinham sustentação matemática para terem credibilidade. Tiveram êxito na sua empreitada, levando ao ostracismo os pesquisadores da linha biológica.

#### d) Nos anos 70

Para a linha biológica, esta foi uma década negra. Apesar disso, houve pesquisadores que, por outros caminhos, chegaram a novas concepções de redes neurais artificiais. Estas concepções analisavam o aprendizado de informações como sendo resultado de uma união das potencialidades de redes de neurônios interagindo entre si.

Nasciam as redes neurais representadas na forma de mapas cerebrais, onde não havia o aprendizado de um neurônio, mas de toda uma rede, através do compartilhamento de recursos.

Já na linha psicológica, estudos mais aprofundados demonstraram o que já se fazia óbvio: que não seria possível a representação numa máquina dos estados mentais humanos responsáveis pelo pensamento. Pelo menos naquele estagio em que se encontrava a tecnologia. A saída para esta linha de desenvolvimento era dada por uma empresa: a Rand Corporation. Foi a partir de sua equipe de pesquisa que surgiram os sistemas especialistas, os quais foram responsáveis pela ampliação da Inteligência Artificial tradicional.

**e) Nos anos 80**

As redes neurais artificiais tiveram seu reconhecimento recuperado através do físico John Hopfield, que em 1982 provou ser possível a simulação de um sistema físico através de um modelo matemático baseado na teoria das redes neurais. Assim, em 1986, uma equipe de especialistas das mais diversas áreas reuniu-se para validar as pesquisas em torno das redes neurais, possibilitando a volta da pesquisa nesta linha. Uma das formas de recuperação do prestígio das redes neurais foi a proposta de um modelo, chamado Backpropagation, que ampliava o potencial do Perceptron de modo a permitir a superação das limitações do modelo primitivo.

Enquanto isso, na IA tradicional, ampliavam-se as técnicas e aplicações dos sistemas especialistas. Além disso, houve o interesse de trabalho conjunto com outras áreas, tais como interfaces inteligentes, sistemas de apoio à decisão, controle de robôs e outros.

**f) Nos anos 90 e 2000**

Nestas décadas, as redes neurais tiveram um grande crescimento passando por uma explosão de aplicações e desenvolvimento de modelos. É enorme a quantidade de propostas de novos ou do aperfeiçoamento de modelos a cada ano, tal o interesse pela área. A partir daí, consolidam-se as redes neurais como parte integrante do estudo da Inteligência Artificial propriamente dita.

Reconhece-se, também, que os paradigmas biológico e psicológico são complementares e necessários para os sistemas mais evoluídos. Desta forma, começam nesta década a serem construídos os chamados Sistemas Híbridos, sistemas estes resultado da união das concepções das duas linhas de pesquisa, permitindo a construção de grandes sistemas que pretendem abranger uma forma mais completa de representação do comportamento humano. O que reforça o ideal original da própria inteligência Artificial.

## 2.2 As Redes Neurais

Uma rede neural pode ser considerada como uma espécie de sub-especialidade da inteligência artificial, ou como uma classe de modelos matemáticos para resolução de problemas de classificação e reconhecimento de padrões, consistindo numa teoria para o estudo de fenômenos complexos.

Como citado anteriormente, os primeiros trabalhos nesta área, foram realizados em 1942 por McCulloch e Pitts. Nesta época essa área foi alvo de muito investimento, principalmente pelo interesse de novas tecnologias dos países envolvidos na segunda guerra mundial. Após este período as pesquisas praticamente deixaram de existir.

Somente no final da década de 80 é que as redes neurais passaram a ter um desenvolvimento explosivo, com a multiplicação exponencial de publicações e a exploração comercial de softwares envolvendo aplicações nesta área. Provavelmente também como fruto da evolução tecnológica que propiciou a evolução do próprio computador.

Foi somente a pouco mais de 50 anos que o computador digital ENIAC, abreviação de (Integrador e Calculadora Numérica Eletrônica) foi construído na universidade da Pensilvânia. O ENIAC pesava 30 toneladas e ocupava algo em torno de 1800 m<sup>2</sup> de área. As informações eram armazenadas em 17 mil tubos a vácuo. Para mantê-lo funcionando, seis técnicos trabalhavam em tempo integral às voltas com peças que explodiam como verdadeiros fogos de artifício. O ENIAC precisava ser “Debugged” literalmente, porque o brilho dos tubos atraia mariposas que deixavam os circuitos viscosos.

Em 1947, o transistor foi inventado. Baseado na física dos semicondutores o transistor era menor e mais leve, muito mais seguro e durável e energeticamente menos intensivo do que tubos a vácuo, emitindo, portanto menor luminosidade e não atraíam mariposas.

Ao final dos anos 50, com a invenção do circuito integrado ou microchip, transistores e computadores avançaram muito, um pedaço de silício que incorporava milhões de transistores, acionando uma indústria mundial multibilionária.

Em 1974, a INTEL introduziu o microchip com o poder de cálculo suficiente para formar a memória do primeiro PC, o ALTAIR. Ele era difícil de montar, não funcionava perfeitamente, não tinha memória externa, impressora ou teclado. Tinha uma capacidade de memória limitada e para a entrada de dados usavam-se pinos. Tais pinos eram ajustáveis e quando formavam determinada combinação definiam um código. Ainda assim o ALTAIR atraiu

colecionadores e especialistas que percebiam que estavam prestes a participarem de uma revolução tecnológica.

Os especialistas estavam certos. Hoje 29 anos após o ALTAIR, milhões de PC's são utilizados em todo o mundo. Certamente os PC's precisam aprimorar ainda muito suas capacidades. Mesmo sendo mais rápidos, processando dados como jamais conseguiram, ainda existe a frustração do computador não aprender a pensar como o homem.

Não há pesquisador que tenha estudado tal dilema mais que Marvin Minsky, professor de Artes e Ciências da Mídia no MIT. O Professor Minsky é considerado o pai da Inteligência Artificial. Colaborou no desenvolvimento da máquina pensante, como também se aprofundou no complexo estudo do funcionamento do nosso sistema cerebral.

Antes de 1950 não havia teorias sobre o funcionamento do cérebro, pois não se sabia descrever esse complicado processo utilizando ferramentas matemáticas. A matemática é peculiar, não funciona na abstração de sistemas que possuem muitos "se"... "Se isso acontece: faça isso", "se não acontece: faça aquilo". A matemática, em alguns desses casos deixa de ser confiável.

Hoje esses estudos avançaram um pouco, temos modelos matemáticos representando o funcionamento do nosso cérebro, mas estamos ainda certamente muito longe do que gostaríamos.

Um teste para detectar comportamento inteligente foi proposto pelo matemático e cientista Alan Turing, no início da década de 50. Ele propôs uma situação em que um humano seria confrontado com dois terminais de computador, com os quais poderia comunicar-se através dos teclados. Um dos terminais estaria ligado a um computador, programado para manter conversação com o humano. O outro estaria ligado a um segundo terminal, operado por um segundo humano. Se o primeiro humano não for capaz de distinguir a diferença de qualidade entre as duas conversas que mantém, então o computador passou no teste de inteligência de Turing.

Em 1936, Alan Turing escreveu uma dissertação com o nome "Sobre Números Computáveis". Esse trabalho descreve todo um sistema de funcionamento dos computadores modernos.

No fim do século XIX, Turing havia criado sua máquina abstrata para tentar demonstrar que os problemas que pudessem ser resolvidos pelo cálculo dos predicados de primeira ordem poderiam ser resolvidos por métodos mecânicos. Esta idéia levou Turing a criar a famosa "máquina de Turing", como é conhecida hoje, que desempenha operações de ler, escrever e apagar símbolos em uma fita infinita.

Até a década de 80, praticamente todas as aplicações que envolviam processamento de dados e informações adotavam a abordagem da *computação programada*, que consiste no desenvolvimento de um algoritmo para a resolução de um problema, o qual é codificado numa linguagem de programação.

O final da década de 80 foi marcado pelo ressurgimento da área de Redes Neurais Artificiais (RNAs), também conhecida como conexionismo ou sistemas de processamento paralelo e distribuído. Esta forma de computação não é algorítmica, e sim caracterizada por sistemas que, de alguma forma ou de alguma maneira, relembram a estrutura do cérebro humano. Por não ser baseada em regras ou programas, a computação neural se constitui em uma alternativa à computação algorítmica convencional.

A capacidade de aprender através de exemplos e de generalizar a informação aprendida são os atrativos principais da solução de problemas através das RNAs. A generalização está associada à capacidade da rede em aprender através de um conjunto reduzido de exemplos e, posteriormente, dar respostas coerentes a dados não apresentados à rede. Isto é uma demonstração que a capacidade das RNAs vai, além de, simplesmente mapear relações de entrada e saída. As RNAs são capazes de extrair informações não apresentadas de forma explícita através de exemplos. Outras características importantes são a capacidade de auto-organização e processamento temporal que, aliadas à anteriormente citada, fazem das RNAs uma ferramenta computacional extremamente poderosa e atrativa para a solução de problemas complexos.

### a) O Neurônio Biológico

Já que as RNAs são baseadas na estrutura do cérebro (neurônios), faz-se necessário conhecer as características de um neurônio biológico, para uma posterior compreensão a respeito do funcionamento das mesmas.

O neurônio biológico é uma célula que pode ser dividida em três seções: o corpo da célula, os dendritos e o axônio, cada uma com funções específicas, porém complementares.

O corpo do neurônio mede apenas alguns milésimos de milímetros e os dendritos apresentam poucos milímetros de comprimento. O axônio pode ser mais longo. Os dendritos têm como função, receber informações, ou impulsos nervosos, oriundas de outros neurônios, e

conduzi-las até o corpo celular. Ali, a informação é processada e novos impulsos são gerados. Estes impulsos são transmitidos a outros neurônios (nodos), passando pelo axônio e atingindo os dendritos dos neurônios seguintes.

Um impulso é algo como uma perturbação elétrica circulante e não como uma corrente elétrica propriamente dita. Sua velocidade depende em parte do diâmetro da fibra nervosa: quanto maior o diâmetro mais rapidamente o impulso se propaga. Os impulsos recebidos por um neurônio são armazenados numa função soma, onde seu valor é passado para frente pelo axônio desse neurônio. Um impulso pode se deslocar com uma velocidade de até 130 m/s, o que significa aproximadamente 308 km/h, mas ele pode também se deslocar com a velocidade de apenas 1,5 km/h. A velocidade parece ter relação com a mielina das fibras. Os impulsos se deslocam de 10 a 20 vezes mais rápido nas fibras nervosas que possuem esse revestimento.

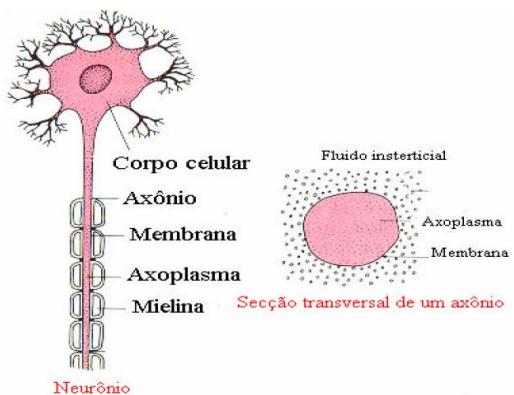


Figura 1: Componentes de um Neurônio Biológico.

Não se sabe ao certo como os impulsos percorrem as fibras nervosas, mas acredita-se que seja mais ou menos da seguinte forma: em geral, a carga elétrica do fluido de fora da membrana de uma fibra nervosa, é mais positiva do que a carga do fluido de dentro da membrana. Mas quando um estímulo é aplicado ocorre uma mudança bem naquele ponto da membrana, esta mudança parece permitir que íons do fluido de fora da fibra atravessem-na chegando ao fluido interno.

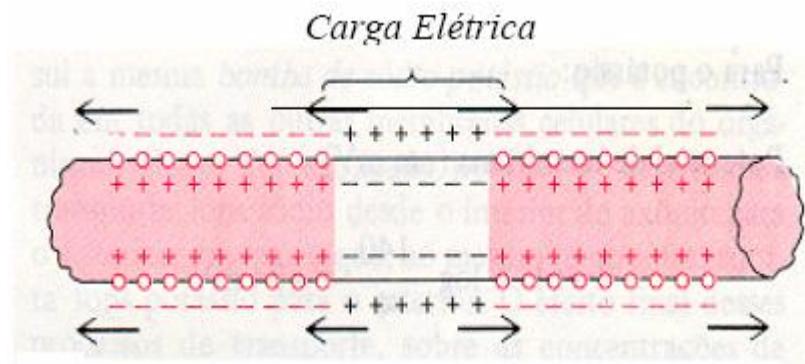


Figura 2: Carga Elétrica.

Este movimento provoca uma mudança na carga elétrica da fibra, o interior torna-se mais positivo que o exterior, porém apenas durante um milésimo de segundo, pois os íons retornam ao exterior através das membranas. Mas a breve inversão de cargas afeta esta minúscula área da membrana e ocorre outro fluxo de íons. Este fluxo por sua vez provoca mudança semelhante na área seguinte e assim por diante. Este ciclo contínuo de mudanças é o que chamamos de impulso. É desta maneira que os impulsos são transmitidos ao longo de um neurônio.

A transmissão do impulso de um neurônio para outro ocorre da extremidade do axônio para o dendrito do neurônio seguinte. A região onde um axônio encontra um dendrito é denominada **sinapse**.

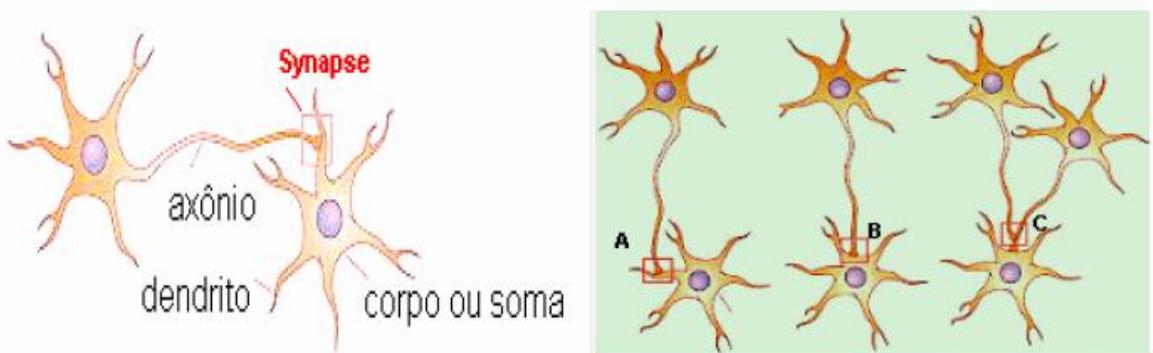


Figura 3: O processo de transmissão de impulsos nervosos entre neurônios.

Na realidade os axônios e os dendritos não chegam a entrar em contato direto, entre eles existe uma minúscula separação, menos de um milionésimo de milímetro, quando um impulso alcança a extremidade das ramificações de um axônio, estruturas especiais liberam uma substância química que atravessa a separação.

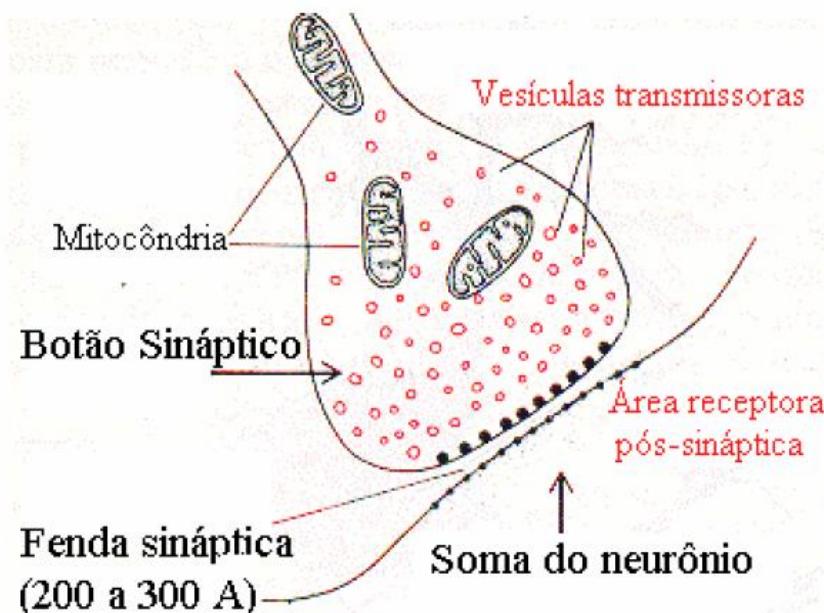


Figura 4: Passagem do impulso.

Quando uma quantidade suficiente dessa substância acumula-se ao redor do dendrito do neurônio este é estimulado e o impulso continua seu caminho.

Os sinais oriundos dos nodos *pré-sinápticos* são passados para o corpo do neurônio, onde são comparados com outros sinais recebidos pelo neurônio. Se o percentual em um intervalo curto de tempo é suficientemente alto, a célula “dispara”, produzindo um impulso que é transmitido para as células seguintes (*nodos pós-sinápticos*).

As enzimas rapidamente destroem as substâncias químicas que estimularam o dentrito e ele fica pronto para se estimulado novamente. Toda esta ação dura cerca de um milésimo de segundo. É deste modo que os impulsos vão sendo transmitidos.

Muitos impulsos são colocados em movimento por estímulos do meio ambiente. A luz é um desses estímulos. Somos capazes de ver devido às células nervosas sensíveis a luz e aos vários comprimentos de ondas da luz que nos permite distinguir as cores. Temos células

nervosas sensíveis ao calor. Outras são sensíveis aos estímulos químicos, aos estímulos mecânicos, aos estímulos do conhecimento, etc.

E é este sistema simples o responsável pela maioria das funções realizadas pelo nosso cérebro. A capacidade de solucionar funções complexas surge com a operação em paralelo de todos os  $10^{11}$  nodos do nosso cérebro.

### b) O Neurônio Artificial

A idéia de criar máquinas capazes de incorporar características do cérebro humano tem sido estudada, nos dias de hoje, com trabalhos através do uso de computadores. De fato, a analogia entre computadores e operações realizadas pelo cérebro tem se tornado uma grande área de pesquisa.

Em 1942, Norbert Weiner define a comunicação entre o cérebro animal e a máquina. No mesmo ano o neurofisiologista McCulloch e o matemático Walter Pitts da universidade de Illinois, como já comentado, publicaram o primeiro tratamento formal sobre redes neurais formais.

Neste trabalho fizeram uma analogia entre células nervosas vivas e o processo eletrônico, consistindo num modelo de resistores variáveis e amplificadores representando conexões sinápticas de um neurônio.

Em 1949, o psicólogo Donald Hebb descobriu a base de aprendizagem nas redes neurais quando explicou o que ocorre a nível celular, durante o processo de aprendizagem do cérebro.

Essas redes podem ganhar experiências por meio de treinamento. A lei de aprendizagem de Hebb diz que se um neurônio é repetidamente estimulado por outro neurônio, ao mesmo tempo em que ele estiver ativo, ele ficará mais sensível aos estímulos, e a conexão sináptica entre os dois será mais eficiente. Deste modo o neurônio que provocou o estímulo produzirá uma saída no outro neurônio.

Em 1956, o pesquisador Nathaniel Rochester apresenta um modelo de rede neural artificial, onde ele simula centenas de neurônios interconectados, através da construção de um sistema para verificar como a rede responderia aos estímulos ambientais.

O próximo marco foi a invenção do **Perceptron**, descoberto por Rosenblatt em 1957. Um dos mais significantes resultados apresentados até o momento, um simples procedimento de treinamento que converge se a solução do problema existir.

Em 1969, o entusiasmo pelas redes neurais foi abafado pela publicação do livro “Perceptron”, por Minsk e Papert, onde os autores mostram que existe uma interessante classe de problemas, aqueles que não são separáveis linearmente, e que a rede perceptron não é capaz de resolver. Esta publicação fez com que todos os investimentos de pesquisa em redes neurais fossem retirados.

Até início da década de 80, praticamente todas as aplicações que envolviam processamento de dados e informações adotavam a abordagem da *computação programada*, que consiste no desenvolvimento de um algoritmo para a resolução de um problema, o qual é codificado numa linguagem de programação retratada pela figura que representa a chamada máquina de Von Neumann.

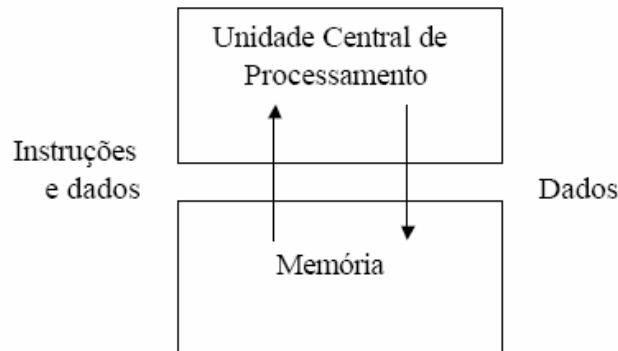


Figura 5: Máquina de Von Neumann.

Neste tipo de operação o computador repetidamente executa os seguintes ciclos de eventos:

1. busca uma instrução na memória;
2. busca qualquer dado requerido pela instrução na memória;
3. executa as instruções (processa os dados);
4. armazena resultados na memória;
5. volta ao passo 1.

Em meados da década de 80 surgiu uma abordagem revolucionária para o processamento de dados e informações, conhecida como *neuro computação*, ou *redes neurais artificiais*.

Esta não requer o desenvolvimento de algoritmos ou conjunto de regras para analisar os dados, o que freqüentemente reduz de forma significativa o trabalho de desenvolvimento de programas que uma dada aplicação venha a requerer. Na maior parte dos casos, a rede neural passa por um processo de treinamento a partir de casos reais conhecidos, adquirindo a partir daí a sistemática necessária para executar adequadamente o processamento desejado dos dados fornecidos, ou seja: ela tem a capacidade de extrair as regras básicas desejadas a partir de dados reais, dispensando qualquer modelo prévio já conhecido.

Pode-se perceber melhor a diferença entre a computação programada e as redes neurais comparando-se computadores e seres humanos.

As Redes neurais artificiais são um modo de se simular e tentar entender o que se passa nos sistemas nervosos biológicos, na esperança de se conseguir tomar proveito dos poderosos recursos desses sistemas orgânicos. É evidente, que esta aproximação está muito longe de ser evidenciada.

Segundo dados apresentados por Gurney o ser humano consegue processar uma informação em um milisegundo ( $10^{-3}$ s), enquanto um computador atual processa uma informação em torno de um nanosegundo ( $10^{-9}$ s). Nota-se que o cérebro é extremamente lento, sobre este ponto de vista, quando comparado com um computador.

Ainda segundo Gurney, estima-se que o cérebro humano contém em torno de 20 bilhões de neurônios. Sabe-se também que cada neurônio tem até 10 mil ligações (sinapses) com neurônios vizinhos. Portanto a malha formada em nosso cérebro é da ordem de  $10^{14}$  neurônios/ligações. Daí observa-se a dificuldade de simulação do cérebro humano em uma máquina.

A energia do cérebro é de aproximadamente  $10^{-16}$  joules operações por segundo, enquanto o correspondente valor para um computador atual é de  $10^{-6}$  joules operações por segundo.

Outro dado é que o cérebro tem a capacidade de organizar e reorganizar perguntas, tomar decisões complicadas com uma facilidade enorme. Além disso, uma cena pode ser codificada em milisegundos. O tempo que o cérebro gasta para reconhecer uma imagem, por mais complexa que ela seja é de 100 a 200 milisegundos, enquanto um computador pode levar minutos para realizar esta tarefa.

Somente em 1982, o físico John Hopfield com suas publicações deu um novo impulso às pesquisas nesta área.

Em 1986, após as publicações de Rummelhart e McClelland a área de redes neurais teve um desenvolvimento explosivo com a multiplicação exponencial de publicações e a exploração comercial de produtos, “softwares”, de redes neurais.

Do final da década de 80 em diante, vários trabalhos sobre redes neurais foram desenvolvidos. A partir dos quais as redes neurais artificiais passam a consistir em uma espécie de emulação de sistemas nervosos biológicos em programas ou circuitos digitais.

### c) O Modelo Neural

Os neurônios transmitem sinais através de impulsos elétricos. Esses sinais chegam até os neurônios através dos dendritos e saem através dos axônios. A região onde um axônio encontra um dendrite é denominada *sinapse*. Os modelos neurais procuram simular o processamento dos computadores ao funcionamento do cérebro. As redes neurais possuem um grau de interconexão similar à estrutura do cérebro, um método que certamente não é empregado em computadores convencionais.

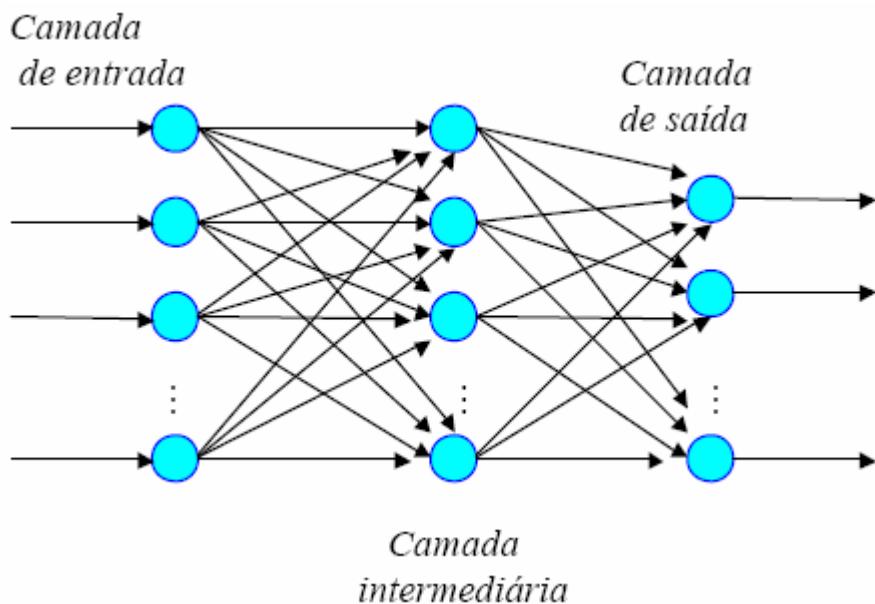


Figura 6: Modelo Neural.

Sendo o aprender uma capacidade que a rede possui graças aos seus neurônios. Se uma rede aprende, ela retém conhecimento que se distribui por toda a rede. Essa retenção interna se dá através do estudo, da observação e da experiência.

Um programa de computador nunca fará nada que já não saiba fazer. Situações inesperadas e algo que um programa não consegue abordar, mesmo que queiramos contemplar todas as possibilidades de um problema, teríamos que prever todas as situações possíveis.

O cérebro não age assim, pois, baseado no conhecimento sinapticamente acumulado, tomará alguma ação perante a nova situação, ponderando pelo julgamento dos elementos que aprendeu terem relevância.

Diante disso, o estudo das redes neurais teve a sua origem e também sua fundamentação baseadas no estudo do cérebro e de suas conexões sinápticas. Sendo que o aprendizado sináptico é massivamente paralelo o que o torna flexível, rápido e eficaz.

Como substituto eletrônico do neurônio biológico o neurônio artificial possui o seguinte formato:

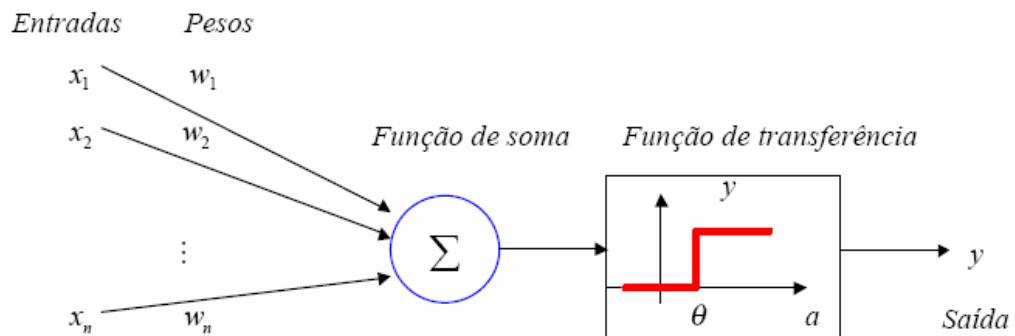


Figura 7: Neurônio de McCulloch – Pitts.

Esse modelo de neurônio proposto por McCulloch e Pitts, conhecido como o modelo MCP é uma simplificação do que se sabia a respeito do neurônio biológico na época. A sua descrição matemática resultou em um modelo com  $n$  terminais de entrada  $x_1, x_2, \dots, x_n$  (que representam os dendritos), e apenas um terminal de saída  $y$  (que representa o axônio). Para emular o comportamento das sinapses, os terminais de entrada do neurônio têm *pesos* acoplados  $w_1, w_2, \dots, w_n$ , cujos valores podem ser positivos ou negativos, dependendo das

sinapses correspondentes serem inibitórias ou excitatórias. O efeito de uma sinapse particular  $i$  no neurônio pós-sináptico é dado por:  $x_i w_i$ .

Os pesos determinam “em que grau” o neurônio deve considerar sinais de disparo que ocorrem naquela conexão e as conexões entre os neurônios procuram simular as conexões sinápticas biológicas, fazendo uso dessa variável chamada peso. A função de soma acumula os dados recebidos (estímulos), de outros elementos e a função de transferência processa a função soma transformando-a.

Biologicamente falando, um neurônio passa adiante um estímulo conforme a força dos estímulos recebidos, provenientes dos neurônios que a ele, estão conectados. No mundo artificial, o mesmo efeito é simulado, dentro das possibilidades tecnológicas atuais.

A soma dos impulsos recebidos é que determina a continuação do estímulo (figura).

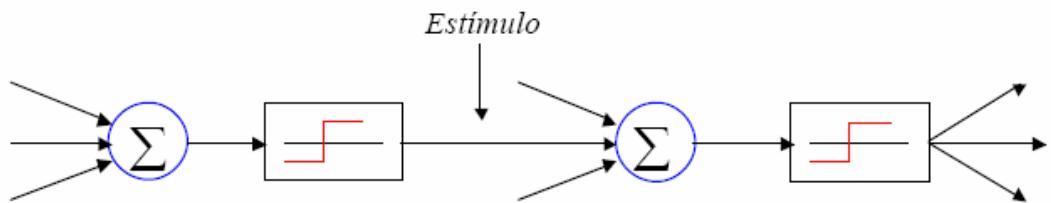


Figura 8: Conexão Sináptica Artificial.

O disparo se dá quando a soma dos impulsos que o neurônio recebe ultrapassa o seu limiar de excitação chamado de *threshold*. O corpo do neurônio, por sua vez, é emulado por um mecanismo simples que faz a soma dos valores  $x_i w_i$  recebidos pelo neurônio (soma ponderada) e decide se o neurônio deve ou não disparar (saída igual a 1 ou a 0) comparando a soma obtida ao limiar ou *threshold* do neurônio. No modelo MCP, a ativação do neurônio é obtida através da aplicação de uma “função de ativação”, que ativa a saída ou não, dependendo do valor da soma ponderada das suas entradas. Na descrição original do modelo

MCP, a função de ativação é dada pela chamada função limiar descrita por  $\sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i$ . O nodo

MCP terá então sua saída ativa quando:  $\sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i \geq \theta$ .

O tipo de conexão, número de camadas de neurônios e o tipo de treinamento, são os aspectos que diferem os tipos de redes neurais existentes.

Resumindo uma rede neural é uma coleção de neurônios formais dispostos de certa maneira que lhes permita configurar um aspecto específico. É com estes neurônios que a rede neural aprenderá as informações que serão fornecidas através de seus canais de entrada.

### **2.3 A Inserção do Computador no Processo de Ensino-Aprendizagem**

Os elementos que caracterizam a evolução e as formas pelas quais o computador foi inserido no processo de ensino-aprendizagem podem ser destacadas:

a) **InSTRUÇÃO PROGRAMADA**: foi a primeira forma de utilização, e com certeza a mais difundida em termos quantitativos. Também conhecida como CAI (Computer Assisted Instruction). Consiste, resumidamente, em um conjunto de exercícios repetitivos para fixação, tutoriais ou demonstrações. Dentre esses, os mais utilizados são os exercícios repetitivos.

São programas que procuram conduzir o aluno a realizar uma série de exercícios que costumam ser ordenados pelo grau de dificuldade. São transmitidas para a tela da máquina algumas informações e, depois, testa-se a aprendizagem.

As perguntas são apresentadas na forma de questões de múltipla escolha ou de questões com lacunas a serem preenchidas. Após cada resposta correta, o aluno recebe um elogio ou cumprimento; caso contrário recebe uma mensagem informando que a resposta está incorreta e, na maioria das vezes, fornece uma nova chance.

A instrução programada na forma de exercícios repetitivos pode ser utilizada em todos os graus de escolaridade. Uma outra variedade da instrução programada é formada pelos *tutoriais*, cujo objetivo é levar o computador a instruir o aluno, da mesma forma que um professor faria quando de um contato individualizado com o mesmo.

Usualmente, o tutorial fornece algumas informações ao aluno e, em seguida, propõe questões relacionadas, cujas possíveis respostas estão previstas pelo sistema. A qualidade do tutor é medida pela capacidade da equipe que o desenvolveu em prever todas as possíveis entradas. Os tutoriais são considerados superiores aos exercícios repetitivos, sendo, dessa forma, aconselhados para alunos a partir do final do ensino fundamental. Finalmente, tem-se a

demonstração. O computador pode propiciar demonstrações com grau de sofisticação bastante elevado.

Recursos gráficos, sonoros e cromáticos podem ser utilizados e, consequentemente, substituir gradualmente certos recursos didáticos como o retroprojetor e as transparências. O potencial do computador, sem dúvida, foi demonstrado pela facilidade com que as variáveis podiam ser manipuladas e pelo retorno imediato que ele proporcionava.

Do ponto de vista educacional, o desenvolvimento da Instrução Assistida por Computador (CAI) foi influenciado pelas teorias psicológicas Behavioristas e as máquinas de ensino programado do século anterior.

Na década de 50 apareceram os primeiros sistemas de ensino assistidos por computador, os chamados programas lineares. Esses programas caracterizavam-se por mostrar o conhecimento de uma forma linear, isto é, nenhum fator podia mudar a ordem de ensino estabelecida na sua criação pelo programador. Esta atuação dos sistemas tinha sua origem na Teoria Behaviorista, defendida por B.F. Skinner.

A Teoria Behaviorista propunha que as pessoas “funcionam” por estímulos e que à igual estímulo corresponde igual resposta. Por esta razão, não se devia permitir que os alunos cometessesem erros, já que estes lhe dariam um reforço negativo.

No desenvolvimento de uma sessão de ensino não se levava em consideração, para nenhum fim, o erro do aluno. Acreditava-se que quando uma operação era seguida por um estímulo de reforço, a força da ação era aumentada. Para este fim, a saída do programa de computador dos primeiros CAIs era um “frame” de texto, que verificava se o conteúdo até aquele ponto havia sido “apreendido”. A partir daí o aluno dava então algum tipo de resposta baseado no que já conhecia ou por tentativa e erro. Finalmente, o programa informava ao aluno se ele estava certo.

O uso de uma ordem pré-definida de tais passos formou o que é conhecido como um “programa linear”. O aluno podia trabalhar usando o material em seu próprio tempo e suas respostas corretas eram recompensadas de imediato.

Dentro desta abordagem os CAI apenas apresentavam o conteúdo, não incentivando o aprendizado evolutivo do aluno frente ao software. Dessa forma, o aluno seguia uma seqüência finita e pré-determinada de passos sem com isso estimular o raciocínio frente a diferentes situações. No entanto, a partir dos anos 60, começou-se a considerar que as respostas dos alunos podiam ser usadas para controlar o material de estudo e que se os alunos tivessem acesso ao seu esquema de resolução pessoal, eles aprenderiam minuciosamente

como eles “tentaram” resolver os problemas de um determinado grau de dificuldade até achar uma forma de resolução sistemática.

Os sucessores dos programas lineares no campo do ensino assistido por computador, foram os programas ramificados ou “programação ramificada” ou ainda programação em árvore que era mais adequada por ter feedback, sendo adaptada ao ensino para dar as respostas aos alunos. Estes tinham um número fixo de temas, semelhantes aos programas lineares, mas diferenciavam-se pela capacidade de atuar segundo a resposta do aluno.

A melhora oferecida por estes sistemas foi obtida pela ajuda da técnica de *Patternmatching* e a utilização de linguagens de autoria. A técnica de *Patternmatching* permitia tratar as respostas do aluno como aceitáveis ou parcialmente aceitáveis, no lugar de totalmente corretas ou incorretas como exigia a proposta de Skinner.

Outra questão considerada foi que os materiais de ensino contidos nos programas lineares eram, em geral, muito extensos e intratáveis por meios clássicos. Por esta razão as “linguagens de autoria” foram desenvolvidas e se caracterizavam por serem linguagens específicas e apropriadas para o desenvolvimento de materiais CAI de forma tratável pelo sistema.

Nesta década, a maioria das aplicações educacionais usando computadores adotava o paradigma da instrução programada e seu enfoque era centrado no professor, ou seja, o aluno deveria compreender a tarefa que havia sido “passada” pelo professor para posteriormente responder alguma questão relativa ao conteúdo previamente trabalhado.

No final dos anos 60 e princípio dos anos 70, surgiram os sistemas gerativos (também chamados de sistemas adaptativos). Esses sistemas foram associados a uma nova filosofia educacional que defende que os alunos aprendem melhor enfrentando problemas de dificuldade adequada, do que atendendo a explicações sistemáticas, isto é, uma espécie de tentativa de adaptação do ensino às necessidades do próprio aluno.

Os sistemas gerativos são capazes de gerar um problema de acordo com o nível de conhecimento do aluno, construir sua solução e diagnosticar a resposta do aluno. Em geral, a solução para um problema concreto não é única, no entanto, os sistemas gerativos criam só uma solução que gera a base de seu diagnóstico.

Ainda nesta década foi descoberto um novo nível de sofisticação no design dos sistemas CAI, onde, em alguns domínios tais como a aritmética, foi possível que o próprio sistema gerasse o seu material de ensino usando o computador. Por exemplo, um gerador aleatório de números podia produzir dois números para serem adicionados pelo aluno, e logo o

resultado do computador da adição era comparado como o resultado do aluno, para gerar a resposta. Assim, tais sistemas somente precisariam de uma estratégia de ensino geral e eles produziriam uma árvore de possíveis interações com um número infinito de ramificações. Tal sistema “gerativo” podia responder algumas das questões dos alunos, bem como incorporar alguma classificação de medida de dificuldade da tarefa.

Mas, os sistemas gerativos não valiam para todo tipo de domínio de ensino. Mesmo obtendo bons resultados em áreas como a da aritmética, a dificuldade para gerar problemas aumentava consideravelmente em outras áreas de conhecimento.

A partir de então, a área educacional tenta se aliar aos recursos computacionais para produzir um meio de ensino eletrônico, onde o aluno aprenda por si próprio utilizando os recursos disponíveis nos computadores. No entanto, o uso de computadores na educação fez com que se produzissem softwares que hoje são intitulados de “viradores de páginas eletrônicos”, ou seja, apenas apresentam o conteúdo ao aluno sem se preocupar com o seu aprendizado.

Apesar da nítida evolução desses sistemas em termos de recursos gráficos, os sistemas CAI ainda possuem a mesma síntese preestabelecida pelo professor e não adaptável a cada tipo de aluno que o estiver utilizando. Nenhum destes sistemas tem conhecimento, como o ser humano, do domínio que eles estão ensinando, nenhum pode responder questões sérias dos alunos como, o “porquê” e o “como” as tarefas são realizadas.

De maneira geral, os sistemas CAI's ainda têm em comum as seguintes características: (URRETAVIZCAYA, 2001);

1. Os cursos são muito extensos.
2. A comunicação entre o tutor e o aluno não está muito bem definida.
3. O conhecimento do como e por que se executam as tarefas de ensino estão fusionados. Isto é, os sistemas de ensino reagem segundo os modelos estabelecidos e com certa independência das atitudes e preferências do aluno concreto.
4. O desenho e a implementação dos sistemas são feitos sob medida.
5. O conhecimento que inclui não se vê modificado com o tempo, não evolui.

No contínuo desenvolvimento dos algoritmos para os sistemas CAI, durante os últimos 30 anos, observamos que eles têm melhorado na riqueza do feedback e no grau de individualização que oferecem aos alunos. Os sistemas CAI's parecem ter melhorado acima da expectativa em sofisticação computacional desde seu humilde início. Contudo, eles estão longe

de se igualarem a qualquer professor humano. O principal problema é o empobrecimento do conhecimento por eles detido.

Nos sistemas gerativos existe uma péssima combinação entre os processos internos do programa (aritmética Booleana, regras e tabelas) e os processos cognitivos do aluno.

b) **Simulações:** modelos que pretendem imitar um sistema, real ou imaginário, com base em uma teoria de operação desse sistema. Hoje em dia, um computador tem capacidade para simular sistemas razoavelmente complexos. Com a utilização de programas de simulação, o aluno pode testar hipóteses complexas com facilidade, manipular variáveis e verificar o comportamento do modelo sob variadas condições e situações. Seu valor está na estimulação de raciocínios e desenvolvimento de habilidades necessárias para a solução do problema em questão. Uma boa simulação pode fazer uso de gráficos, animação, texto e, além disso, de situações realistas e desafiadoras para serem solucionadas. Deve representar ao máximo o sistema original, com um número razoável de detalhes interessantes e sem simplificações exageradas para não perder o poder descritivo e explicativo.

c) **Jogos Educacionais:** são muito importantes e possuem grande valor pedagógico. São jogos que se diferenciam dos demais jogos pelo objetivo, que é, explicitamente, promover a aprendizagem. Entretanto, como todos os outros, os jogos pedagógicos pretendem ser divertidos. Existem jogos que exigem do aluno a aplicação de regras de lógica e evidência. Isto faz com que o aluno encare o pensamento, a lógica e a linguagem com extrema seriedade. Ele aprende a processar informações, fazer inferências lógicas e testar conjecturas.

d) **Linguagem LOGO:** é a mais antiga e difundida. É uma linguagem extremamente interativa e amiga, que dá ênfase à auto-aprendizagem e, rapidamente, tornou-se a mais usada nos meios educacionais. Diversos estudos têm mostrado que a aprendizagem por descoberta, exploração, investigação e busca não só tem um significado especial para o desenvolvimento das estruturas cognitivas, por se constituir numa aprendizagem altamente significativa para a criança, como é retido por muito mais tempo. Dessa forma, o LOGO foi elaborado para funcionar como uma ferramenta importante na promoção de uma aprendizagem ativa, dinâmica, relevante e significativa. Ao desenhar na tela do computador, o aluno é encorajado a pensar sobre o que está fazendo, refletir sobre seus próprios erros e reformular suas idéias quando necessário.

e) **Pacotes de Aplicativos:** são aplicativos genéricos no ensino, como editores de texto, editores gráficos, planilhas eletrônicas, gerenciadores de banco de dados, entre outros. Tais aplicativos podem ter elevado potencial prático e pedagógico.

f) **Sistemas Tutoriais Inteligentes (STI):** Durante as décadas dos anos 60 e 70 esperava-se um rápido desenvolvimento em IA. Os avanços no poder computacional faziam supor que IA tivesse também uma rápida evolução. No entanto, os problemas que a IA se dispunha a tratar envolviam uma grande complexidade tanto formal como em termos do poder computacional. Apesar disso, os pesquisadores de IA continuaram otimistas nas décadas dos 60, 70 e 80.

Por volta desta mesma época, a Psicologia Cognitiva começou a questionar as suposições do Behaviorismo (comportamentalismo). Novas teorias da aprendizagem e o Construtivismo de Piaget começavam a ter influência. Chomsky, junto com Newell e outros, introduziram as idéias de processamento de informação simbólica (GREENO, 1994), idéias essas que despertaram o interesse da comunidade de IA, em lingüística e processamento de linguagem natural. O processamento da informação (PI) tornou-se um paradigma dominante no final dos anos 70 e começo dos 80.

Os Sistemas Tutores Inteligentes (STI) nascem então como iniciativa no intento de tratar as falhas dos sistemas gerativos e podem ser vistos como CAIs inteligentes dos anos 80. Esta iniciativa foi beneficiada pelo trabalho dos pesquisadores de Inteligência Artificial (IA), que tinham uma permanente preocupação em buscar a melhor forma de representação do conhecimento dentro de um sistema inteligente. Nesta década, começaram a surgir pesquisas na área de IA através da criação dos ICAI (Instruções Assistidas por Computador Inteligentes). Os ICAI apresentam uma estrutura diferenciada para trabalhar com domínios educacionais, visto que utilizam técnicas de IA e Psicologia Cognitiva para guiar o processo de ensino-aprendizagem.

No ano de 1982, Sleeman e Brown revisaram o estado da arte nos sistemas CAI e criaram o termo de *Sistemas Tutores Inteligentes* (Intelligent Tutoring Systems), para descrever os sistemas ICAI e distingui-los dos sistemas CAI antecessores. Este termo tinha uma suposição implícita acerca de como aprender focada em *aprender fazendo*. Estes sistemas facilitam o ensino/aprendizagem fazendo-o mais efetivo, correto e também mais agradável.

Existem várias definições de STI's como, por exemplo:

*“Os STI são programas de software que dão suporte às atividades da aprendizagem (GAMBOA, 2001)”.*

*“Os STI são programas de computador com propósitos educacionais e que incorporam técnicas de Inteligência Artificial. Oferecem vantagens sobre os CAIs (Instrução Assistida por computador), pois podem simular o processo do pensamento humano para auxiliar na resolução de problemas ou em tomadas de decisões”. (FOWLER, 1991);*

*“Sistema Tutor Inteligente, é um termo amplo, abrangendo qualquer programa de computador que contem alguma inteligência e pode ser usado em aprendizagem”.(FREEMAN, 2000);*

*“Os Sistemas Tutores Inteligentes são sistemas instrucionais baseados em computador com modelos de conteúdo instrucional que especificam ‘o que’ ensinar, e estratégias de ensino que especificam ‘como’ ensinar”. (WENGER, 1987);*

Resumindo, são uma evolução dos CAI. Os STI são programas de computador que fazem uso da Inteligência Artificial para representar o conhecimento e proporcionar maior interação com o aluno. O objetivo principal dos STI é fazer com que o computador adote uma conduta inteligente que permita controlar o processo de aquisição de conhecimento e que proporcione uma instrução adaptada ao aluno.

O desenvolvimento de pesquisas na área de Instrução Auxiliada por Computador (CAI - Computer Assisted Instruction) teve início ainda na década de 1960. Os resultados obtidos geraram um grupo de programas convencionalmente chamados page-turners, caracterizados pelas lições preparadas sobre um assunto específico, onde o usuário apenas virava a página. Nenhuma distinção entre os vários níveis de conhecimento dos usuários era feita, tão pouco a geração de problemas e comentários diferenciados. (FEIGENBAUN, 1982); (RICKEL, 1989);

Para incrementar a disponibilidade de treinamentos via STI, faz-se necessária a redução substancial do seu tempo de desenvolvimento e a sua forte dependência em relação a conhecimentos de Inteligência Artificial. Isto pode ser conseguido através da criação, desenvolvimento e utilização de sistemas geradores de STI denominados de IAS (Intelligent Authoring System). (BEGG, 1987); Um IAS deve ser capaz de manter um bom grau de personalização sem necessidade de programação explícita e aumento de custos (KAPLAN, 1995).

## 2.4 Uma descrição mais detalhada dos Sistemas Tutoriais Inteligentes:

Com o objetivo de deixar claras as posições defendidas daqui por diante faz-se necessário levar a conhecimento uma definição básica que norteará alguns princípios adotados no trabalho, a definição de Inteligência Artificial.

Insistentemente comentada anteriormente sob vários aspectos, considerar-se-á IA daqui por diante definida como o resultado de uma simbiose entre a forma de pensar do homem, que do meu ponto de vista em hipótese alguma pode ser considerada fixa e imutável, com as potencialidades que a “máquina” lhe acrescenta. Aparecendo como uma espécie de espelho epistemológico do homem, enquanto programador da máquina. Sem esquecer, é claro sua capacidade de evoluir por si, bem como a de despertar e aguçar nossa imaginação nos permitindo explorar possibilidades e até mesmo criar “mundos artificiais” com o propósito de dominar a realidade. De tal forma que as limitações da IA não serão mais que as nossas próprias limitações enquanto criadores.

Um Sistema baseado em Inteligência Artificial criado para resolver problemas em um determinado domínio (área de interesse específico para as quais podemos desenhar um sistema de IA) cujo conhecimento utilizado é fornecido por pessoas que são especialistas naquele domínio, é denominado *Sistema Especialista*.

São sistemas cujo propósito é solucionar problemas que são resolvíveis apenas por pessoas especialistas (que acumularam conhecimento exigido) na resolução destes problemas. (FEIGENBAUN, 1981);

São, portanto programas de computador que tentam resolver problemas que os seres humanos resolveriam emulando o raciocínio de um especialista, aplicando conhecimentos específicos e inferências.

Entende-se por:

*Sistema* - "Conjunto de elementos, materiais ou idéias, entre os quais se possa encontrar ou definir alguma relação".

*Especialista* - "Pessoa que se consagra com particular interesse e cuidado a certo estudo. Conhecedor, perito".

Um Sistema Convencional é baseado em um algoritmo, emite um resultado final correto e processa um volume de dados de maneira repetitiva enquanto que um Sistema Especialista é baseado em uma busca *heurística* e trabalha com problemas para os quais não existe uma solução convencional organizada de forma algorítmica disponível ou que ainda é muito demorada.

Um Sistema Especialista é projetado e desenvolvido para atender a uma aplicação determinada e limitada do conhecimento humano. Ele é capaz de emitir uma decisão, apoiado em conhecimento justificado, a partir de uma base de dados (informações), exatamente como um especialista de determinada área do conhecimento humano.

Um especialista com o propósito de tomar uma decisão sobre um determinado assunto, o faz a partir de fatos que encontra e de hipóteses que formula, buscando em sua memória um conhecimento prévio armazenado durante anos, no período de sua formação e no decorrer de sua vida profissional, sobre esses fatos e hipóteses. E o faz de acordo com a sua experiência, ou seja, fazendo uso do conhecimento acumulado sobre o assunto e, com esses fatos e hipóteses, emite uma decisão.

Durante o processo de raciocínio, o especialista verifica qual a importância dos fatos que encontra comparando-os com as informações já armazenadas em seu conhecimento acumulado acerca desses fatos e hipóteses.

Neste processo, o especialista vai formulando novas hipóteses e verificando novos fatos e esses vão influenciar no processo de raciocínio, adaptando-o e moldando-o à nova situação.

Um especialista, com esse processo de raciocínio pode não chegar a uma decisão se os fatos de que dispõe para aplicar o seu conhecimento prévio não forem suficientes. Pode, por este motivo, inclusive chegar a uma conclusão errada. Mas este erro se justifica em função dos fatos que encontrou e de sua comparação com o conhecimento acumulado previamente.

Um Sistema Especialista deve, além de inferir conclusões, ter capacidade de aprender novos conhecimentos e, desse modo, melhorar o seu desempenho de raciocínio, e a qualidade de suas decisões.

O uso dos sistemas especialistas costuma ocorrer sempre que um problema não pode ser algoritmizado, ou sua solução conduza a um processamento muito demorado, visto que eles possuem um mecanismo apoiado em processos heurísticos.

A eficiência de um Sistema Especialista está centrada principalmente em sua capacidade de interação com o usuário. Ou seja, as pessoas têm de ser capazes de interagir com ele facilmente. Para facilitar esta interação os sistemas devem ser capazes:

De "explicar seu raciocínio", o que significa em muitos dos domínios nos quais os sistemas especialistas operam que as pessoas não aceitarão resultados se não estiverem convencidas da precisão do processo de raciocínio que os produziu.

Que o processo deve proceder em etapas compreensíveis em que o metaconhecimento suficiente (conhecimento sobre o processo de raciocínio) esteja disponível para que as explicações dessas etapas possam ser geradas.

"Adquirir conhecimento novo e modificar o conhecimento antigo". Visto que o conhecimento pode ser aumentado e ou alterado e que os sistemas especialistas derivam da riqueza das bases de conhecimento que eles exploram, é extremamente importante que essas bases de conhecimentos sejam completas e precisas, o que pode ser conseguido através da interação com o especialista humano ou através do uso de artifícios capazes de fazer com que o programa aprenda o comportamento especialista a partir de dados brutos.

Com o propósito de solucionar problemas os Sistemas Especialistas precisam acessar uma grande base de conhecimento do domínio da aplicação, portanto seu sucesso depende enormemente da forma de como o conhecimento é representado e os mecanismos para a exploração deste conhecimento.

Eles costumam ser formados basicamente por três componentes:

- **"Base de dados"**: base de conhecimento - descreve a situação corrente e o objetivo a ser alcançado;
- **"Conjunto de operadores"**: mecanismos para exploração - unidades que operam sobre a base de dados;
- **"Estratégia de controle"**: Raciocínio Para Frente (bottom-up) - aplicação de operadores sobre as estruturas na base de dados que descreve a situação do domínio de uma tarefa para produzir uma situação modificada, e Raciocínio Para Trás (top-down) - aplicação de operadores sobre as metas para reduzi-las às submetas, sendo que a combinação dos dois raciocínios, também é possível.

Uma importante técnica de IA envolvendo bottom-up e top-down é chamada de *Análise Siginificado-Final* (means-end), que faz a comparação da situação de domínio da tarefa corrente com a meta corrente para extrair a diferença entre elas. A diferença é então usada para indexar o operador mais relevante a fim de permitir sua redução.

Caso estes operadores especialmente relevantes não possam ser aplicados para o presente estado do problema, submetas são aplicadas para alterar o estado até que, um operador relevante possa ser aplicado.

Depois que estas submetas são solucionadas, o operador relevante é aplicado produzindo resultados e a situação modificada vem a ser um novo ponto inicial para alcançar o objetivo original.

Todas essas características nos mostram claramente que os Sistemas Tutoriais Inteligentes podem se apresentar, na verdade, como sistemas especialistas voltados para o aspecto educacional cujo principal objetivo é proporcionar um ensino adaptado a cada aluno, tentando se aproximar ao comportamento de um professor humano na sala de aula.

Para compreender como os sistemas buscam alcançar tais objetivos, várias arquiteturas para seu funcionamento foram propostas. Dentre elas pode-se destacar:

A que foi proposta por McTaggart (2001), que tem quatro componentes, como mostra a figura abaixo.

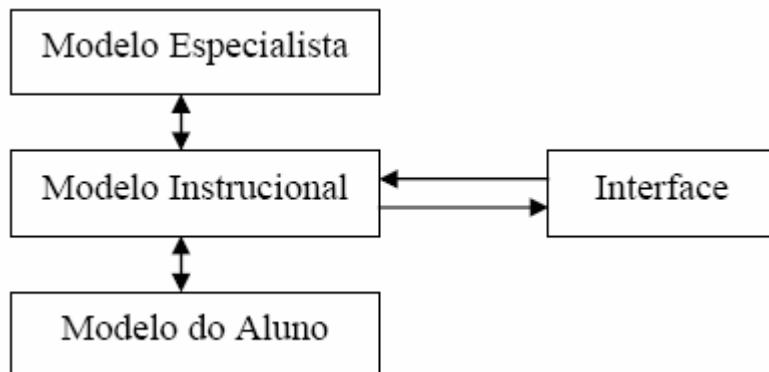


Figura 9: Arquitetura de um STI, segundo McTAGGART.

Os vários componentes trabalham juntos para produzir um sistema instrucional que pode reconhecer padrões de comportamento do aprendiz e responder com instruções apropriadas a esses padrões. Este processo é dirigido pela representação do conhecimento num modelo especialista, mas os outros componentes devem também ser projetados para novos processos de aprendizagem.

A arquitetura proposta por Kaplan (1995) também tem quatro componentes, como mostra a figura abaixo.

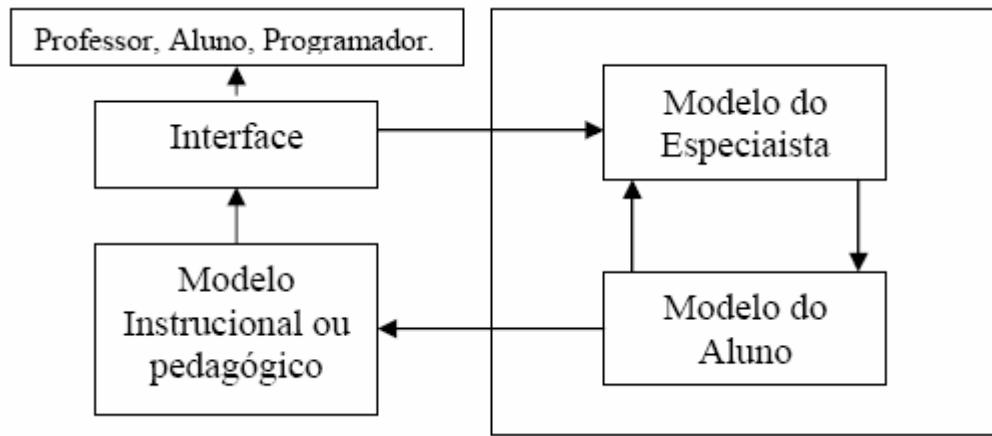


Figura 10: Arquitetura de um STI, segundo KAPLAN.

Os componentes que Kaplan, reconhece são:

- A interface**, que permite aos usuários interagir com o sistema. Distinguem-se três tipos específicos de usuários: O Aluno, o Professor, e o Programador do sistema.
- O modelo instrucional ou pedagógico**, que é responsável pela definição da estratégia para transmitir o conhecimento aos usuários.
- O modelo especialista ou do domínio**, que contem o material do curso que se ministrará.
- O modelo do aluno**, que reflete o quanto conhece o aluno sobre o domínio, assim como as experiências cognitivas e de aprendizagem que tem levado, do qual pode obter-se um diagnóstico.

Outra arquitetura geral, proposta por Clancey (1987), tem sete componentes.

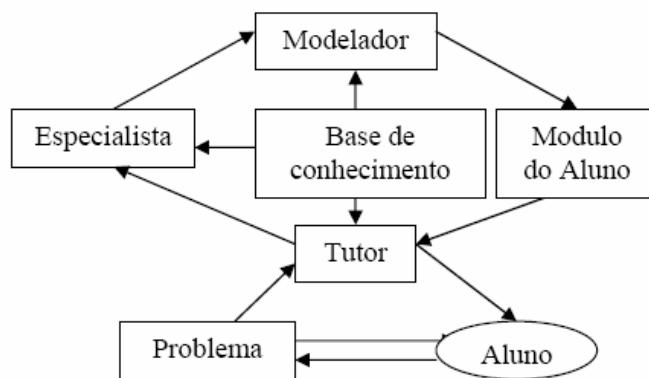


Figura 11: Arquitetura de um STI, segundo Clancey.

A arquitetura proposta por Clancey separa as funções dos módulos: Por um lado, o modelo do aluno se constrói e se atualiza através de um diagnóstico realizado pelo módulo “modelador”, que pode ser considerado o primeiro “especialista”; e por outro lado, o tutor guarda as informações sobre o aluno, mas também o realimenta para o que requer de uma estratégia e tomar decisões.

Já a arquitetura de um STI proposto por Wenger (1987) tem cinco componentes, como mostra a figura a seguir.

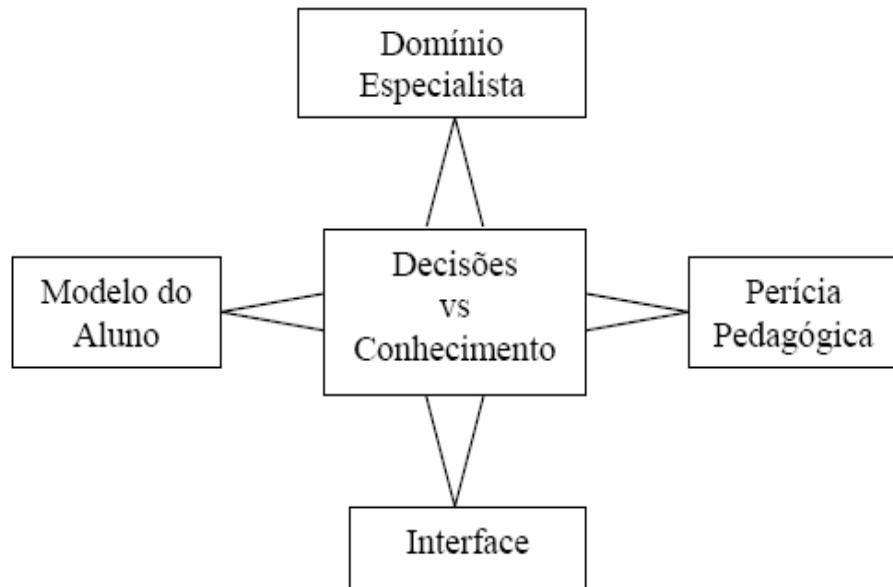


Figura 12: Arquitetura de um STI, segundo Wenger.

Enquanto as arquiteturas tradicionais de um Sistema Tutor Inteligente coincidem, Wenger tenta abstrair os vários componentes acima das mais tradicionais definições de Engenharia de Software, visualizando-o como ‘*ferramenta de comunicação de conhecimento*’. Propondo também, um estudo em conjunto das disciplinas de Inteligência Artificial (IA), Ciência Cognitiva e Educação.

Apesar de algumas arquiteturas propostas possuírem mais de quatro componentes, em geral, a arquitetura de um Sistema Tutorial Inteligente é dividida em quatro módulos funcionais (Divisão clássica).

A esses quatro módulos podem ser adicionados outros como, por exemplo, uma Base de Conhecimento (BC), um módulo para tomada de decisões e outros. A adição de mais módulos à arquitetura básica, dependerá basicamente do domínio no qual se está modelando a arquitetura do STI.

A divisão clássica de um STI em módulos resulta no diagrama de blocos apresentado na figura abaixo. (WENGER, 1987);

Nela distinguem-se quatro entidades básicas, que são:

- *Modelo Pedagógico*;
- *Modelo do Especialista*;
- *Modelo do Estudante*;
- *Interface*.

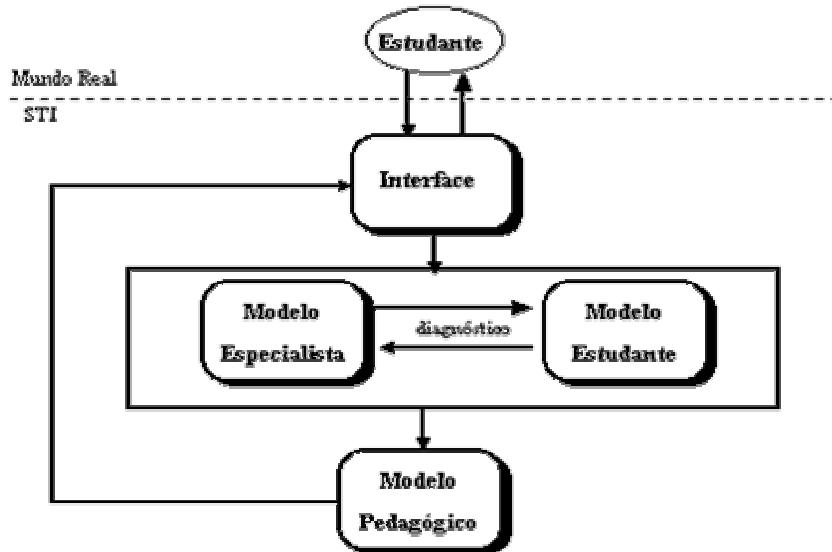


Figura 13: Divisão clássica de um STI, apresentada por Wenger.

Onde:

O *Modelo Pedagógico*, também chamado *Modelo Instrucional ou de Regras de Ensino*, executa o diagnóstico do conhecimento do aprendiz, decide quais as estratégias de ensino deverão ser utilizadas e determina de que maneira a informação será apresentada. O *Modelo do Especialista*, ou *Rede de Conhecimento* descreve o conhecimento de um especialista na área de domínio do sistema, servindo como base para a construção do *Modelo do Estudante*.

O *Modelo do Estudante* é a representação do conhecimento do aprendiz e dos seus erros ou mal-entendidos, mapeando quais informações do tutor já foram assimiladas.

É através da comparação entre as informações assimiladas pelo aprendiz (*Modelo do Estudante*) e o *Modelo do Especialista*, através de um processo convencionalmente

denominado de Modelo Diferencial, que são executados os processos de diagnóstico, alimentando o Modelo Pedagógico acerca do rendimento do usuário em questão.

O módulo de Interface realiza o intercâmbio de informações entre o sistema, o instrutor e o aprendiz. Ele apresenta material apropriado ao nível de entendimento do aprendiz e mantém a coerência nas explicações.

Influenciada pelo avanço das Ciências Cognitivas e das tecnologias digitais, a Educação vem passando por uma reformulação substancial. O conceito de aprendizagem atualmente em foco, passa a se destacar mais que o conceito de ensino.

Diante disso, a aplicação de novas teorias da aprendizagem tem mudado a natureza do aprendizado e da percepção do aluno buscando unir a curiosidade e as habilidades individuais do mesmo, aos complicados conceitos e habilidades a serem desenvolvidos de forma interdisciplinar.

Em função disso, espera-se que o aluno encare o computador como um instrumento lúdico e amigável, tornando-se assim, menos resistente ao processo de ensino-aprendizagem.

Dentro dessa perspectiva, aparecem os Sistemas Tutoriais Inteligentes que contemplam a interatividade tão necessária entre o aprendiz e a sua realidade, promovendo uma formação baseada em processos onde o diagnóstico cognitivo dos erros do aluno é um componente essencial na construção de um sistema de ensino eficaz.

Os STIs permitem a simulação do comportamento e da detenção do conhecimento de um professor humano; argumentando, aprendendo, entendendo e resolvendo problemas. Essas capacidades advindas de técnicas de Inteligência Artificial (IA) permitem ao computador processar linguagens naturais e compreender a fala, dentre outros recursos.

De modo geral, um STI deve saber o que ensinar (conteúdo de domínio), como ensinar (estratégias instrutivas) e ainda ser capaz de aprender informações pertinentes ao usuário/aprendiz. Isto requer a representação do conhecimento de um perito (especialista), do aluno em particular que está sendo ensinado e a interface pela qual será exposto o conteúdo.

Pela interação destes métodos e técnicas, os STIs poderão fazer julgamentos sobre o aluno identificando seu progresso educativo. E, durante o decorrer desse processo ele poderá alternar suas formas de avaliação ou inferir aleatoriamente sobre as mesmas, o que será obtido através do uso constante de avaliações.

Para isso os STIs devem ser capazes de qualificar e processar informações, reconhecer padrões de comportamento, identificar concepções de desempenho e estabelecer um plano de instrução.

As instruções podem ser formuladas ao aluno de diversas formas, dentre elas a forma de “remediação” que é baseada nos erros que o mesmo comete e que são avaliados pelo sistema, através de concepções pré-determinadas.

A função principal de um STI é proporcionar uma instrução adaptada ao aluno a fim de que o mesmo possa resolver problemas dentro de um determinado contexto, ajustando as estratégias de ensino-aprendizagem ao conteúdo e à forma do que se aprende, aos interesses, expectativas e características do aprendiz, dentro das possibilidades da área bem como ao nível de conhecimento e das múltiplas formas capazes de permitir a apresentação ou a obtenção de tal conhecimento.

Um STI pode adaptar o conteúdo e sua forma de apresentação através de suas interações com o aluno, isto é feito com base no conhecimento anterior e nas respostas do mesmo. Se necessário, o sistema poderá alterar o conteúdo, talvez simplificando ou ampliando o mesmo, de maneira que possa se adaptar a cada aluno individualmente.

Outro fator facilitador da aprendizagem dos Sistemas Inteligentes, é que eles podem oferecer várias combinações de gráficos, imagens em movimento, sons e uma série de dispositivos de navegação, como botões e menus. Isto permite ao aluno mover-se através do material de acordo com seu conhecimento e, disponibiliza a ele novos recursos tecnológicos como videoconferência, vídeo sob demanda, *chats*, listas de discussão, dentre outros.

Segundo Kearsley (1987) uma das formas de se representar o domínio de uma aplicação dos STIs pode ser feita como mostra a figura abaixo:

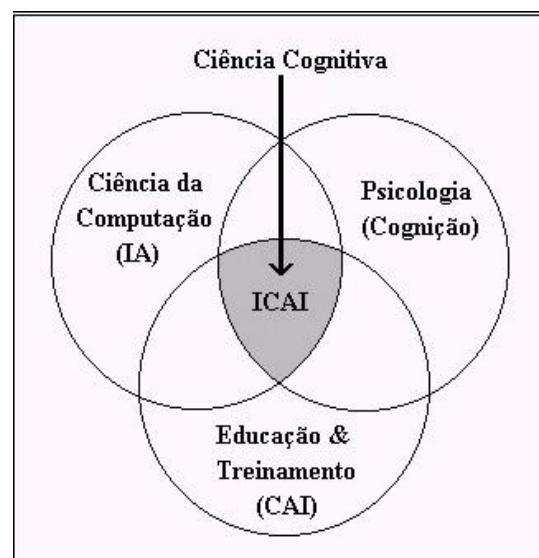


Figura 14: Representação do domínio de uma aplicação dos STIs segundo Kearsley.

Para Woolf os Sistemas Tutoriais Inteligentes (STI) são definidos como:

*"Sistemas que modelam o ensino, a aprendizagem, a comunicação e o domínio do conhecimento" e que eles "devem modelar e raciocinar sobre o domínio do conhecimento do especialista e o entendimento do estudante sobre este domínio". (WOOLF, 1988);*

E podem, portanto ser representados como fruto de um relacionamento entre duas áreas como mostra a figura a seguir:

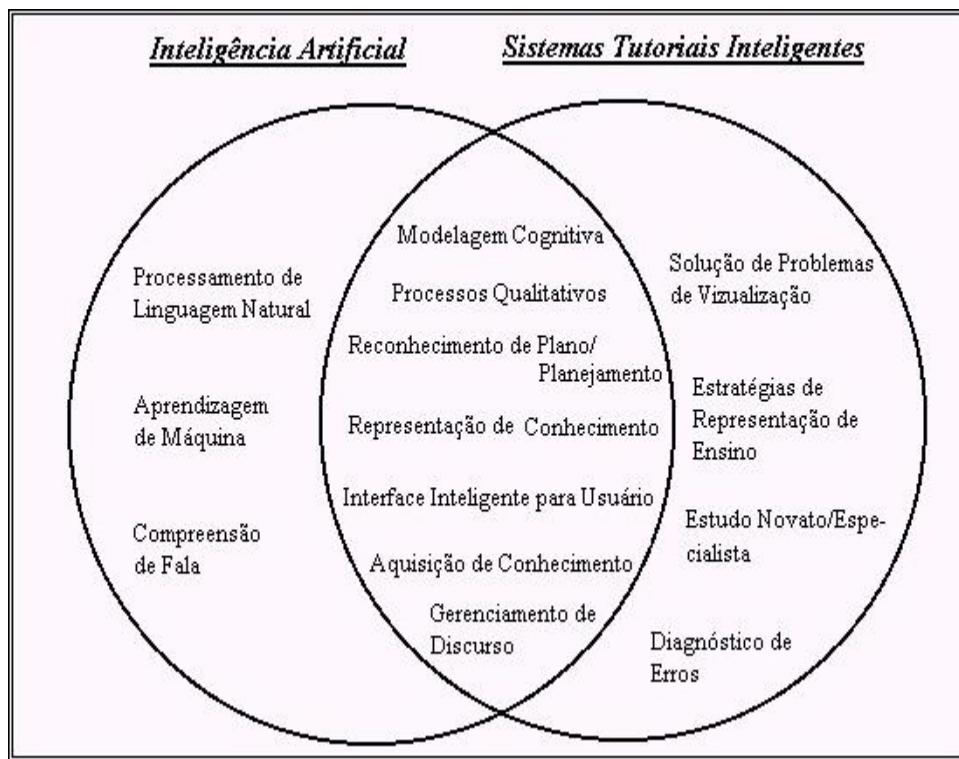


Figura 15 - Áreas de Pesquisas Ativas segundo Woolf (1988).

Segundo Viccari (1993), os STIs:

*"São sistemas em que a IA desempenha um papel de relevo, não só por permitir maior flexibilidade no ensino por computador, mas também por possibilitar a participação ativa do aluno e do sistema, gerando um ambiente cooperante para o ensino e a aprendizagem (de ambos os agentes - aluno e sistema)".*

São apontados como principais benefícios da utilização de um sistema tutorial inteligente atual:

- A velocidade na determinação dos problemas;
- A decisão estar fundamentada em uma base de conhecimento;
- A segurança;
- A exigência de pequeno número de pessoas para interagir com o sistema;
- A estabilidade;
- A dependência decrescente de pessoal específico;
- A flexibilidade;
- A integração de ferramentas;
- A capacidade de evitar interpretação humana de regras operacionais.

São apontados como problemas nos STIs atuais:

- *Fragilidade* - Como os Sistemas Especialistas somente têm acesso a conhecimentos altamente específicos do seu domínio, não possuem conhecimentos mais genéricos quando a necessidade surge;
- *Falta de metaconhecimento* - Geralmente não possuem conhecimentos sofisticados sobre sua própria operação, portanto não conseguem raciocinar sobre seu próprio escopo e restrições. A aquisição do conhecimento continua sendo um dos maiores obstáculos a aplicação de tecnologia dos Sistemas Especialistas a novos domínios.
- *Validação* - A medição do desempenho de Sistemas Especialistas é muito difícil porque não sabemos quantificar o uso de conhecimento.

Viccaro e Moussalle (1990) apontam várias características desejáveis em um STI e consideram que através da utilização de métodos e recursos oferecidos pela IA estas características possam ser implementadas:

- ser flexível em todos os níveis (arquitetura, controle, comunicação, adaptação ao aluno);
- possibilitar e incentivar a exploração dos conteúdos instrucionais;
- possuir vários planos de ensino e uma taxonomia inicial para a apresentação do conteúdo instrucional;
- dominar, o máximo possível, o assunto que ensina;
- possuir “metaconhecimento” para resolver situações não previsíveis nas regras que descrevem o conhecimento do tutor;
- operar conforme o modelo de ensino assistido (caráter tutorial);
- ter mecanismos inteligentes para a depuração e orientação na detecção de falhas;

- possuir mecanismos que permitam a simulação automática e a resolução conduzida dos problemas;
- ter capacidade de aprendizagem visando, pelo menos, a adequação ao estilo do aluno;
- ter mecanismos que descrevam o raciocínio que o aluno e o tutor utilizam ao explorar um conteúdo instrucional, e,
- ter capacidade para reconstituir estados passados.

Cabe citar que a escolha dos STIs como objeto de estudo desse trabalho se deveu muito mais às características apontadas anteriormente, como problemas e desejáveis, do que em função dos benefícios destacados e que estes apresentam.

## **2.5 Um detalhamento dos componentes da arquitetura básica de um STI:**

### **a) Modelo Estudante:**

O Modelo Estudante permanece como o centro das atenções nas pesquisas com STI (GREENO, 1994).

O que distingue os STI dos CAI é justamente o objetivo de serem capazes de responder ao estilo individual de aprendizagem do aluno para distribuir instruções sob medida. Embora, alguns autores questionam o objetivo do modelo estudante, por causa de limitações técnicas (McCALLA, 1992); ou por questões filosóficas, esta é ainda uma área de pesquisa ativa. (SACK, 1994); Segundo Mitchell (1993), um STI deve modelar o mundo, o aprendiz, e a interação professor - aluno.

Este módulo representa o conhecimento e as habilidades cognitivas do aluno em um dado momento. É constituído por dados estáticos e dinâmicos que serão de fundamental importância para o tutor poder comprovar hipóteses a respeito do aluno. (VICCARI, 1990);

Contém uma representação do estado do conhecimento do aluno no momento que interage com o STI. A partir desse modelo e do conteúdo a ser ensinado, o sistema deve ser capaz de inferir a melhor estratégia de ensino a ser utilizada em seguida. Um modelo realista do aluno implica numa atualização dinâmica, à medida que o sistema avalia o desempenho do aluno.

Os dados dinâmicos referem-se ao desempenho do aluno frente às questões formuladas pelo tutor e confrontadas com as hipóteses elaboradas pelo aluno, frente ao uso que este faz do sistema e frente aos novos conhecimentos que ele pode vir a ensinar ao tutor.

Muitas técnicas são utilizadas para construir o modelo do aluno como, por exemplo:

- Incluir um reconhecimento de padrões aplicados à história das respostas fornecidas por ele.
- Comparar a conduta do aluno com a de um especialista e verificar os pontos em comum.
- Colocar as preferências do aluno.
- Seus objetivos particulares.
- Coisas que ele sempre costuma esquecer quando interage com o tutor.
- Indicação dos seus objetivos particulares.

O modelo do aluno ou modelo estudante, segundo Costa (1996), pode ser representado apoiando-se em alguns modelos de descrição, sendo eles:

- *Modelo diferencial*: onde a resposta do aluno é comparada com a base de conhecimento. Esta modelagem, segundo Damico (1995b), se compara a performance do especialista com a do aluno e não o conhecimento deles. A modelagem por diferenciação divide o conhecimento em duas classes: a do conhecimento que se espera que o aluno tenha e a outra que não se espera que ele possua. Nesta modelagem o conhecimento do aluno é somente um subconjunto do conhecimento do especialista
- *Modelo de Overlay ou superposição*: o conhecimento do aluno é representado como um subconjunto da base de conhecimento do sistema tutor. Obviamente, isso implica em que a representação de conhecimento utilizada no modelo do aluno e na base do domínio seja a mesma.

O *modelo overlay* assume (implícita ou explicitamente) que os erros ou comportamentos anômalos do aluno são sempre devidos à ausência de alguma informação presente na base do domínio. Este pressuposto psicológico é excessivamente simplista: muitos comportamentos incorretos originam-se da presença de concepções incorretas na mente do aluno.

- *Modelo de Perturbação*: também relaciona o modelo do aluno com a base de conhecimento do domínio. Este modelo foi proposto inicialmente por Brown e Burton e recebeu o nome de modelo BUGGY. O modelo de perturbação assume que os erros do aluno são decorrentes da concepção errônea de algum conceito ou ausência dele.

- *Modelo de Simulação:* O ambiente possui um modelo de como o aluno pode ou deve se comportar em determinada situação e através deste modelo ele permite prever o comportamento futuro do aluno, ou seja, a resposta do aluno com base em seu comportamento durante a sessão de trabalho. (ASANOME, 1991);
- *Modelo de Crenças:* consiste em um conjunto de crenças refletindo o grau que pensamos que o aluno entende sobre um conceito em particular.

O Modelo do aluno segundo Wenger (1987), tem três tarefas:

1. Deve colher dados do e sobre o aprendiz. Estes dados podem ser:
  - a. Explícitos: pedir ao aluno para resolver problemas específicos.
  - b. Implícitos: caminhos de navegação dos alunos e outras interações e compará-los com informações acerca de respostas similares do aprendiz.
2. Deve usar os dados para criar uma representação do conhecimento do aluno e processos de aprendizagem. Estes muitas vezes tomam forma dos modelos 'buggy' que representam o conhecimento do aluno em termos de desvios de um conhecimento especialista.
3. O Modelo do Aluno deve representar os dados fazendo algum tipo de diagnóstico, tanto no estado do conhecimento do aluno como em termos de seleção ótima de estratégias pedagógicas para apresentar depois a informação do domínio ao aluno.

Uma das grandes mudanças é representar os dados errados, o fato é que o aluno nem sempre responde consistentemente, em particular quando seu conhecimento é frágil e ele está indeciso acerca das respostas corretas.

O Modelo do estudante segundo McTaggart (2001), abrange tanto o comportamento e conhecimento do aprendiz como a interatividade com o STI, atua como sistema de conselhos que ajudam a levar ao aluno através da base de conhecimento do domínio.

O diagnóstico feito pelo modelo instrucional usa o modelo do aluno para reconhecer erros, gerar e adaptar explicações ou conselhos, gerar problemas, e controlar o progresso através do currículo. Em Inteligência Artificial, é comum chamar de "conhecimento" às informações que o sistema possui a respeito do domínio da aplicação. No entanto, uma noção epistemologicamente mais rigorosa do termo define "conhecimento" como sendo "crença verdadeira e justificada" (NILSSON, 1988); - o que em geral não é o caso da informação armazenada em um sistema computacional.

O "conhecimento" de um sistema especialista, por exemplo, é quase sempre sujeito a revisão e freqüentemente não-justificado - em geral, a palavra do especialista é justificativa

suficiente. Assim, a rigor, seria mais correto falar em "bases de crenças" no lugar de "bases de conhecimento".

Na maioria dos sistemas, essa diferença não tem consequências práticas, pois o comportamento do sistema não é afetado. No entanto, a distinção é fundamental para a modelagem do aluno. Supor que o modelo do aluno é uma base de conhecimento implica em supor que:

- O aluno não possui concepções incorretas (o que não é razoável);
- O sistema é capaz de inferir corretamente o estado cognitivo do aluno (o que não parece uma suposição realista; na melhor das hipóteses, o modelo do aluno é uma aproximação útil).

O comportamento lógico das concepções do aluno assemelha-se muito mais a uma lógica de crenças do que a uma lógica de conhecimento. As concepções estão sujeitas a revisão; o aluno não é logicamente onisciente; sua teoria pode ser inconsistente, etc. Além disso, o modelo do aluno é na verdade um conjunto de crenças aninhadas: crenças do tutor a respeito das crenças do aluno.

Este conjunto está sujeito à revisão, pois não somente as hipóteses do tutor podem estar incorretas, como também o próprio estado cognitivo do aluno muda com o tempo, em consequência da interação entre aluno e tutor.

Douglas (1988) aponta que tutores humanos consomem até 20% de seu tempo reparando suas próprias falhas, e não as do aluno. As maiores partes dessas falhas derivam de suposições incorretas a respeito do estado cognitivo do aluno.

A habilidade de um STI para distribuir apropriadamente instruções individualizadas para os alunos depende do tipo e calibre da informação segura acerca do aluno no modelo do aluno. Esta volta depende do tipo e nível de sofisticação da representação do conhecimento usado no sistema, e sobre a eficácia dos métodos usados para extrair nova informação acerca do aluno e incorporar a nova informação dentro do modelo do aluno.

Como o conhecimento do aluno muda, o modelo do aluno deve incorporar dinamicamente essas mudanças. Um tutor humano está constantemente avaliando quanto o aluno conhece, e está estimando uma taxa de aprendizagem do aluno para guiá-lo através do currículo. O problema de modelar o aluno, então, chega a ser outra forma de testar e avaliar, que pode ser construído dentro do modelo como um meio de desenvolver uma representação do conhecimento do aluno. Segundo Everson (1995) é fundamental discutir as formas nas quais as aproximações psicométricas podem ser aplicadas ao problema de modelar o aluno. Estas

novas técnicas incluem o uso de modelos teóricos item-resposta, reconhecimento de padrões estatísticos, e redes de inferência Bayesiana.

Construir um modelo de aluno mais efetivo terá também um impacto sobre o modelo instrucional.

Um tutor inteligente efetivo terá um grande sentido do que o aluno entende, conhece e pode fazer. Se esta informação é usada para ordenar o material de aprendizagem, resultará numa melhoria concreta do modelo estudante. O modelo não está baseado em heurísticas, mas gera evidências e usa inferências para modelar a sessão tutorial. O modelo não está baseado sobre *quanto* o aluno conhece, mas sim sobre o que o aluno conhece.

### b) Modelo Especialista

O modelo especialista é um componente constituído pelo material instrucional, por uma sistemática geração de exemplos, pela formulação de diagnósticos e pelos processos de simulação. Contém o conhecimento sobre o domínio que se deseja ensinar ao aluno. Vários modelos de representação de conhecimento podem ser usados aqui: redes semânticas, frames, scripts, regras de produção, programação orientada a objetos (OOP), entre outras. A escolha deve recair sobre aquele método que melhor e mais facilmente atenda os requisitos de representação e manipulação do raciocínio.

O modelo especialista (modelo do domínio), segundo McTaggart (2001), é um banco de dados organizado em conhecimentos declarativos e procedurais num domínio específico. Os sistemas especialistas (sistemas baseados em regras) e redes semânticas são duas formas para capturar o conhecimento do especialista. A forma apropriada é determinada pelo tipo e complexidade do conhecimento a ser representado. Desenvolver um modelo de domínio que forneça uma cobertura abrangente do conteúdo do material pode ser uma grande dificuldade e uma tarefa cara.

O objetivo de um STI seria então reproduzir estas estruturas de conhecimento na mente do aprendiz. O modelo de domínio está muito ligado com o modelo do aluno, e esta é uma tarefa simples para o sistema buscar o domínio do conhecimento exaustivamente comparando o modelo de aprendizagem do aluno com o domínio do conhecimento.

A forma na qual o modelo de domínio trabalha não é necessariamente a forma humana de resolver problemas. Os humanos não usam busca exaustiva, mas aplicam técnicas

apropriadas para domínios de resolução de problemas. Novos modelos para o modelo do domínio têm surgido que simulam a resolução humana de problemas de forma real. Esses modelos incorporam conhecimento reflexivo dos fatos, procedimentos, e qualidades que os humanos usam para estruturar sua própria representação do conhecimento. (OREY, 1993);

A relação entre a teoria que fornece os fundamentos para um domínio de conhecimento particular, e sua expressão num STI é outra questão. Um método instrucional bem sucedido reflete sobre a exatidão da teoria capturada no modelo de conhecimento.

Entendendo e usando os processos cognitivos apropriados para aprendizagem, o domínio pode resultar numa estrutura que é generalizável para a assimilação de outros princípios em modelos especialistas. Os STI podem ser úteis para técnicas de aquisição, mas também podem ajudar no desenvolvimento de processos cognitivos.

### c) Modelo Pedagógico

Os modelos pedagógicos contêm as estratégias e as táticas de ensino. As estratégias constituem conhecimento sobre como ensinar, ou seja, sobre como gerar, a partir das informações de diagnóstico, monitoração e análise, uma seqüência de táticas de ensino capazes de apresentar com sucesso um determinado tópico a um determinado aluno.

Segundo Breuker (1988), a maioria dos autores concorda em que uma estratégia de ensino deve definir:

1. Quando interromper? Que razões justificam interromper o curso de raciocínio ou aprendizagem do aluno?
2. O que dizer? Esta questão desdobra-se em:
  - a. Seleção do(s) tópico(s) a ser apresentado(s);
  - b. Ordenação dos tópicos caso haja mais de um.
3. Como dizer? Esta é provavelmente a questão mais difícil. Não há soluções gerais concretas, e muitos autores apontam aqui a falta de teorias pedagógicas suficientemente detalhadas.

Um método muito utilizado pelos tutores, de um modo geral, é o chamado método socrático, em que partindo de conhecimentos que o aluno já domina, o tutor ensina através de perguntas e diálogos, levando o aluno a tirar suas próprias conclusões.

Sendo este seu grande ganho em relação aos CAI tradicionais onde as conclusões são apresentadas ao aluno e ele as recebe de forma passiva, mesmo que as mesmas sejam apresentadas em sofisticados recursos multimídia.

Outro modelo teórico empregado em STI é o modelo *coaching* (de treinamento), que emprega atividades de entretenimento, como jogos, para transmitir conceitos relacionados.

A aprendizagem é uma consequência indireta da atuação nessa simulação. Utilizam-se ainda as estratégias pedagógicas de orientação (o sistema é explicitamente chamado pelo aluno quando este requisita, palpites, expansões ou críticas) e cooperação.

Um terceiro modelo surgiu com a utilização de hipertextos, em que o aluno navega numa estrutura de hipertexto e explora o conteúdo a partir de seus interesses e pré-requisitos.

Este documento está organizado de tal maneira que cada subdivisão lógica do assunto está ligada com o documento através de diversos tipos de ligações, possibilitando que o aluno navegue por diferentes alternativas para explorar o domínio.

O modelo de hipertexto abre excelentes perspectivas para a construção de STI, uma vez que podem abrigar, no mesmo documento, diferentes formas de representação de conhecimento. Além disto, o aluno pode trabalhar de forma mais participativa e dinâmica, podendo ser orientado no aspecto pedagógico de forma diversificada do que ocorre num STI tradicional. O aluno pode controlar dinamicamente as informações, refletindo sua lógica pessoal que pode (e na maioria das vezes é) ser diferenciada da lógica do autor do sistema.

Com as atuais tecnologias de acesso em rede, podemos pensar na possibilidade de acessos simultâneos às informações, onde vários usuários usufruem dos sistemas hipermídia que podem ser vistos como ferramentas de aprendizagem, e não de ensino, dada sua natureza “informal”.

O que realmente acontece na sala de aula é uma tomada de decisão baseada na experiência e no *feeling* do professor, que ao perceber que sua estratégia não está funcionando é capaz de trocá-la em função das múltiplas informações que recebe de seus alunos. É por isto que o projeto de um STI, no que concerne ao design do módulo instrucional, deve envolver designers instrucionais, professores e alunos.

O modelo instrucional ou de estratégias de ensino contem conhecimento para tomar decisões acerca das táticas do tutor. A sobreposição dos componentes do STI faz do modelo instrucional altamente dependente no processo de diagnóstico do modelo do aluno para tomar decisões acerca de que informação apresentar ao aprendiz, e quando e como apresentar essa informação. Idealmente, o STI se ajustará a uma descrição desdoblada ao nível da técnica do aluno. (BUIU, 1999);

#### **d) Modelo da Interface**

Sabe-se que uma boa interface é vital para o sucesso de qualquer sistema interativo, e os sistemas tutores inteligentes não constituem exceção. Pelo contrário, pode-se dizer que a questão da interação cresce de importância nesta classe de sistemas, pois é na interação que o sistema tutor exerce duas de suas principais funções:

- a) a apresentação do material instrucional;
- b) a monitoração do progresso do aluno através da recepção de suas respostas.

Dessas duas funções, podemos derivar alguns objetivos a serem cumpridos pelo módulo de interface:

- 1) é necessário evitar que o aluno se entedie - ou seja, é preciso riqueza de recursos na apresentação do material instrucional;
- 2) é desejável que haja facilidade para troca da iniciativa do diálogo: o aluno deve poder intervir facilmente no discurso do tutor, e vice-versa;
- 3) o tempo de resposta deve, evidentemente, permanecer dentro de limites aceitáveis;
- 4) a monitoração deve ser realizada o máximo possível em "background", para não onerar o aluno com questionários excessivos, mas respeitando também a barreira do tempo de resposta.

A interface homem-computador continua sendo uma importante área de pesquisa em Ciência da Computação.

Uma boa interface antecipa as ações do usuário, deve ser consistente, fornecer um alto nível de interação, e empregar a metáfora. (OREY, 1993); O usuário aprende a relação da interface junto com o conteúdo, assim alguma carga cognitiva adicional deve ser mínima.

Existem muitos tipos de interfaces. Um estilo particular pode depender da habilidade do aprendiz e o conhecimento a ser aprendido. A interface é importante como meio de comunicação, como um ambiente de solução de problemas que dá suporte ao aluno nas tarefas disponíveis, como uma representação externa de sistema especialista e modelos instrucionais.

Por causa do grau elevado da interconexão entre os quatro maiores componentes de um STI, as técnicas usadas num modelo podem ser aplicadas aos outros modelos.

O uso de um modelo cognitivo para verificar erros do aprendiz ou desentendimento (modelo do aluno), tem o potencial não somente para apresentar conhecimento para o aprendiz (modelo do domínio), como faz o tradicional CAI ou a instrução baseada em computador (CBI), mas para comunicar conhecimento real usado durante a solução de problemas relevantes melhor que em situações abstratas (modelo instrucional).

As possibilidades de comunicar conhecimento (modelo de interface), baseada na prática atual, também fornece oportunidades para implementar estratégias educacionais que fornecem um fundamento para o aprendiz durante as fases iniciais da aprendizagem e logo gradualmente desvanecesse como a perícia desenvolvida pelo aprendiz.

As possibilidades na apresentação do material instrucional têm recebido um significativo avanço a partir da utilização de sistemas de hipertexto e hipermídia. Em seu nível mais básico, um sistema de hipertexto é um sistema de gerenciamento de bases de dados que permite conectar telas de informação através de ligações associativas definidas pelo usuário.

O termo hipermídia é utilizado quando as informações conectadas compreendem, além de texto, material gráfico, recursos de vídeo, animação, som, etc., (CAMPOS, 1996); Essa variedade de recursos, aliada à possibilidade de percorrer o material de maneira vinculada à semântica do conteúdo, fazer dos sistemas de hipermídia uma ferramenta de alto potencial para apresentação do material instrucional em sistemas tutores inteligentes.

## 2.6 A NOVAS TECNOLOGIAS:

Incorporado ao senso comum, o termo tecnologia desvia-se de sua significação original, possibilitando equívocos variados, tanto no que se refere à importância que lhe é atribuída, como no que diz respeito ao uso que dela se faz, seja nas organizações empresariais, seja nas escolas e em qualquer dos níveis de ensino.

Originariamente do verbo grego “*tictein*”, que significa criar, produzir, a “*téchne*”, para os gregos, era o conhecimento práctico que visava a um fim concreto e, combinado com “*logos*” (palavra, fala), diferenciava um simples fazer de um fazer com raciocínio. É nesse sentido que Aristóteles considerava a “*téchne*” superior à experiência, identificando-a com um fazer que implicava a adoção de uma linha de raciocínio, que compreendia não apenas as matérias-primas, as ferramentas, como também a idéia originada na mente do produtor até o produto pronto e acabado.

A “téchne” sustentava um juízo sobre o como e o porquê da produção. No entanto, no âmbito da produção industrial moderna, a referência à tecnologia transferiu para o produto a ênfase antes colocada sobre o processo de produção e sobre o produtor, o que contribuiu para a redução da noção de técnica aos instrumentos e, igualmente, reduziu a noção de tecnologia aos modos de fazer as coisas de maneira reproduzível. Esse deslocamento de sentido acaba, em meu modo de ver, retirando da tecnologia o que ela tem de mais importante, a dimensão da subjetividade e, portanto, os componentes éticos dos processos de produção.

A visão positivista da ciência, vigente entre os séculos XVIII e XIX, levou ao entendimento de que a evolução da sociedade moderna se daria em função da eficiência do progresso tecnológico alheio e independente da tradição. O sentido da tecnologia como ciência aplicada vai afastando o espaço da criação e acaba criando uma espécie de diferenciação entre o que é humano e o que é tecnológico.

O caráter de neutralidade então aplicado às ciências estendeu-se à tecnologia, em função de sua propalada objetividade e positividade. Nessa condição, a tecnologia chega a ser utilizada como um instrumento ideológico, sem que ninguém se responsabilize pelo uso que se faça dela.

Atualmente, defende-se a posição de que a tecnologia não se resume a equipamentos, passando a ser vista como um processo de desenvolvimento. Não é simplesmente um meio e sim uma forma de vida, um habitat humano: não foram as máquinas que assumiram o comando da sociedade, mas os homens que fizeram, e continuam fazendo, a opção política por utilizá-las. (Feenberg, 1991)

Vista sob essa ótica, a tecnologia é parte do acervo cultural de um povo e, como tal, se nutre das contribuições permanentes da comunidade social, estando condicionada pelas relações sociais, políticas e econômicas constituídas em um espaço e num tempo determinados. A cultura, por sua vez, é um processo contínuo de criação coletiva, um fenômeno plural e multiforme que não se manifesta apenas como produção intelectual e artística e mesmo científica; ela está presente nas ações cotidianas, na forma de comer, de vestir, de relacionar-se com o vizinho, de produzir e utilizar as tecnologias. As realizações humanas constituem manifestações culturais e são consideradas, portanto, produções tecnológicas.

O motor do desenvolvimento cultural não são as teorias, mas a criatividade e, consequentemente, o conteúdo tecnológico é ciência operacional pela sua própria natureza. O que diferencia a espécie humana de outros seres vivos é justamente essa sua capacidade de desenvolver não só tecnologias **instrumentais** – aparelhos, instrumentos, ferramentas e técnicas – mas também tecnologias **simbólicas** – linguagem, escrita, desenhos, ícones e

outros sistemas de representação, e tecnologias **organizadoras**, que se referem à gestão das relações humanas, das técnicas de mercado, das atividades de pesquisa e de produção, entre outras.

Quando nos referimos ao uso do computador em educação, a idéia de que novas tecnologias vêm substituir o professor já não possui a força de outrora e, mesmo onde tal mito se faz ainda presente, justifica-se pela falta de informação e esclarecimento sobre o assunto.

Hoje, toda e qualquer tecnologia que possui potencialidades e características de comunicação e manipulação de informações, parece adequar-se perfeitamente às atividades ligadas à Educação, na medida em que o ato de ensinar/aprender consiste, sobretudo, em uma relação de comunicação por excelência.

A utilização do computador em Educação só faz sentido na medida em que professores o conceberem como uma ferramenta de auxílio as suas atividades didático-pedagógicas, como *instrumento* de planejamento e realização de projetos interdisciplinares, como elemento que motiva e ao mesmo tempo desafia o surgimento de novas práticas pedagógicas, tornando o processo ensino-aprendizagem uma atividade inovadora, dinâmica, participativa e interativa.

O computador, apesar de uma tecnologia instrumental, estende sua influência ao âmbito reorganizador.

Esse relevante papel que as novas tecnologias poderão desempenhar no sistema educacional depende de vários fatores. Além de uma infra-estrutura adequada de comunicação, de modelos sistêmicos bem planejados e projetos teoricamente bem formulados, o sucesso de qualquer empreendimento nesta área depende, fundamentalmente, de investimentos significativos que deverão ser feitos na formação de recursos humanos, de decisões políticas apropriadas e oportunas, amparadas por forte desejo e capacidade de realização.

Entretanto, para que possamos combinar esses elementos num modelo de planejamento sistêmico, adequado e exequível, é necessária uma melhor compreensão das diferentes realidades educacionais, da gravidade dos problemas que afetam a educação e suas relações de interdependência com os outros subsistemas, da compreensão dos novos cenários mundiais que estão sendo desenhados e redesenhados pelo processo de globalização.

Nesses cenários estão incluídas as novas tendências que vêm afetando a economia, a política, o meio-ambiente, as maneiras de viver e conviver, as formas como as sociedades se organizam, levando-nos a perceber o quanto a área educacional está dissociada do mundo e da vida, o que vem exigindo significativas modificações nos processos de ensino-aprendizagem e nos papéis até então desempenhados pelas escolas.

O equacionamento adequado da problemática educacional envolvendo a utilização das tecnologias requer ainda a transposição para a área educacional de princípios, noções, critérios, conceitos e valores decorrentes do novo paradigma científico que coloca em xeque o atual modelo de construção do conhecimento fundamentado em teorias de ensino-aprendizagem apoiadas num movimento intelectual que já está ultrapassado, embora ele ainda continue existindo e persistindo tanto nas políticas governamentais quanto nas práticas pedagógicas da grande maioria de nossas escolas.

Ao lado dos novos cenários mundiais e de suas implicações educacionais, é importante destacar as alterações ocorridas no paradigma da ciência e a relação dialética existente entre o modelo científico e os enfoques epistemológicos presentes nas atividades pedagógicas.

Na prática do professor encontra-se subjacente um modelo de educação fundamentado em determinadas teorias e, em decorrência, um certo modelo de escola.

O paradigma da ciência que explica a nossa relação com a natureza, com a própria vida, também esclarece a maneira como aprendemos e compreendemos o mundo, nos dando uma indicação mais precisa de como o indivíduo ensina e constrói o conhecimento.

No início deste século, Einstein descobriu, através de uma simples equação, que massa é energia, que energia possui massa e que não existe uma distinção verdadeira entre esses elementos, fazendo com que muitos conceitos decorrentes da visão de mundo cartesiana e da mecânica newtoniana fossem esfacelados.

Com essas modificações, o mundo passou a ser concebido em termos de movimento, de fluxo de energia e processos de mudanças, revelando assim a natureza dinâmica e criativa da matéria. O universo passou a ser composto de espaço e energia considerados indissociáveis, o que alterou profundamente a estrutura da matéria, criando uma nova ordem material onde orgânico e inorgânico não mais se separam, a partir da compreensão do universo como totalidade indivisível em constante movimento.

É um mundo dinâmico constituído de uma grande teia de relações e de interconexões, com sérias implicações nos sistemas econômicos, políticos, tecnológicos e sociais.

Hoje, sabemos que a Teoria da Relatividade e a Física Quântica constituem as tentativas mais completas para compreender as leis do universo e explicam a nossa relação com a natureza e com a própria vida ao oferecerem uma compreensão radicalmente nova dos vários aspectos de nossa vida diária. Esclarecem também como o indivíduo constrói o conhecimento, as interações energéticas que ocorrem entre o ambiente e o pensamento e,

desta forma, resgata a visão de contexto, revelando que os indivíduos são o que são dentro de determinados contextos, podendo e devendo ser compreendidos a partir de suas conexões e de suas relações com a sua realidade contextual. Isso implica em que a educação promova o respeito às diferenças, à diversidade entre os seres, às variações culturais e aos diferentes processos de desenvolvimento humano.

Essas teorias explicam também outros aspectos relevantes para o desenvolvimento da educação. Dentre eles a interconectividade dos problemas educacionais, a reintegração do sujeito no processo de construção do conhecimento, sendo este algo que está sempre em processo de formação. Ampliaram ainda a nossa compreensão ao esclarecer a existência de teorias transitórias, da criatividade presente nos processos da natureza e sua importância para a evolução da humanidade.

Em contrapartida, esses aspectos requerem filosofias educacionais, modelos pedagógicos, teorias e práticas mais compatíveis com este novo modelo da ciência.

De um momento para outro evoluímos passando a ser não mais limitados pela percepção dos cinco sentidos, onde as intuições, as emoções e os sentimentos passaram também a integrar o processo de construção do conhecimento, permitindo uma compreensão mais clara da própria natureza humana.

De uma visão de mundo fragmentada, uma coleção de coisas separadas, o mundo passou a ser compreendido como uma rede de relações, um universo relacional, dinâmico, onde nada é definitivo e tudo é apenas provável.

O novo modelo da ciência trouxe também o conceito de auto-organização inherente a todos os seres vivos. Esse conceito decorre da concepção sistêmica da vida e dos processos de realimentação e de auto-regulação existentes na natureza, onde todos os aspectos constituintes estão interligados em rede.

O processo de auto-organização da natureza implica em autonomia (Morin, 1996) gerada a partir da interação do indivíduo com o meio-ambiente, o que não era possível no paradigma tradicional já que sujeito e objeto estavam separados por uma espécie de barreira intransponível.

Uma espécie de autonomia decorre, então, dessa capacidade de auto-organização existente na natureza, que trabalha para construir e reconstruir sua própria autonomia e nessa operação consome energia proveniente das interações com o meio-ambiente.

Para que haja auto-organização é preciso a ocorrência de perturbações, desafios, problemas e turbulências, que estimulem a reação do organismo em relação ao meio-ambiente.

São essas perturbações que colocam em cheque esquemas mentais antigos e estimulam a construção de novos.

De uma ciência clássica que excluía o pensador de seu próprio pensar, que separava o construtor de sua própria obra, o novo paradigma revelou que essa dicotomia entre sujeito/objeto já não era possível. Com a mecânica quântica aprendemos que o ato de observação altera a natureza do objeto e que não podemos separar **sujeito, objeto** e o **processo de observação**. Assim, a ciência atual reintegrou o sujeito no processo de observação científica, a partir da compreensão de que o conhecimento do objeto depende do que ocorre dentro do sujeito, de seus processos internos.

Desta forma, cada aprendiz organiza a sua própria experiência e o conhecimento é, portanto, produto de uma relação indissociável entre essas três variáveis. Consequentemente, cada indivíduo aprende de uma maneira que lhe é específica.

A visão quântica esclarece que todas as teorias e todos os conceitos estão interconectados, que não há conceitos em hierarquia, o que nos traz a metáfora do conhecimento construído em rede. Redes de informações que pressupõem flexibilidade, plasticidade, interatividade, adaptabilidade, integração, cooperação, parcerias, apoio mútuo e auto-organização. Representa o conhecimento como um conjunto de elementos conectados entre si, um conhecimento de natureza interdisciplinar e transdisciplinar.

O planejamento e a construção de ambientes de aprendizagem coerentes com essas necessidades atuais devem, portanto levar em consideração os novos cenários bem como o paradigma científico, cujos princípios influenciam também as questões epistemológicas e, consequentemente, a própria Educação.

Todos esses aspectos provocam alterações nos processos de construção do saber, no modo como concebemos a escola, na maneira como pensamos, conhecemos e apreendemos o mundo. Esses princípios também nos alertam para o surgimento de um novo tipo de gestão social do conhecimento, apoiado num modelo que já não é mais lido e interpretado como um texto clássico, mas corrigido e interpretado de forma interativa.

Todos esses aspectos requerem uma nova visão do mundo educacional, mais atualizada e coerente com as novas demandas da sociedade. Não podemos mais continuar produzindo uma educação dissociada do mundo e da vida, uma escola morta, fora de sua realidade, que produz seres incompetentes, incapazes de pensar, de construir e reconstruir conhecimento, de realizar descobertas científicas, e que, na verdade, estão impossibilitados de serem contemporâneos deles mesmos.

São vários os aspectos a serem considerados. Dentre eles, destacamos a importância de perceber que a missão da escola mudou. Em vez de atender a uma massa amorfa de alunos, despersonalizados, é preciso focalizar o indivíduo, aquele sujeito original, singular, diferente e único, específico em seu capital genético e em toda a espécie humana. Um indivíduo dotado de inteligência, possuidor de diferentes estilos de aprendizagem e, consequentemente, de diferentes habilidades de resolver problemas. Mas um "sujeito coletivo", inserido numa ecologia cognitiva da qual fazem parte outros humanos, cujo pensamento é influenciado pelos demais integrantes do ambiente, a partir de uma relação contínua existente entre o pensamento e o ambiente em geral, entre o indivíduo e os instrumentos da cultura, aspectos estes inseparáveis de um único processo, cuja análise em partes distintas já não faz mais sentido.

É de fundamental importância a focalização do processo de aprendizagem, mais do que a instrução e a transmissão de conteúdos, lembrando que hoje é mais relevante o "como" se sabe do que "o que" e o "quanto" se sabe. Aprender é saber realizar. Conhecer é compreender as relações, é atribuir significado às coisas, levando em conta não apenas o que é atual e o que está explícito, mas também o passado, o que é possível e o que está implícito.

Já não é mais possível aceitar que o pensamento humano possa ser regido por princípios de causa e efeito, determinado por este ou aquele objetivo pré-estabelecido, sem levar em consideração as variáveis envolvidas no processo.

Da mesma forma, não podemos partir da existência de certezas e "verdades absolutas", da estabilidade, da previsibilidade, do controle externo e da ordem, como sendo coisas possíveis.

Sob esse novo ponto de vista, a educação é vista como um diálogo aberto que se transforma mediante processos sejam de assimilação, acomodação e equilíbrio, sejam processos auto-organizadores que trazem consigo o movimento como uma de suas principais características. Esse movimento é fruto das interações locais traduzidas pelas relações entre educador e educando, educando e seu contexto, escola e comunidade, onde a aprendizagem ocorre mediante processos reflexivos construídos através dos diálogos que os aprendizes mantêm consigo mesmo, com os outros, com a cultura e o contexto, presentes na ecologia cognitiva.

Faz-se necessário, ainda, como um dos itens integrantes dessa nova perspectiva uma educação centrada no "indivíduo coletivo", que reconhece a importância do outro, a existência de processos coletivos de construção do saber e a relevância de se criar ambientes de aprendizagens que favoreçam o desenvolvimento do conhecimento interdisciplinar, da

intuição e da criatividade, para que possamos receber o legado natural de criatividade existente no mundo e oferecer a nossa parcela de contribuição para a evolução da humanidade.

Essa educação, concebida a partir de uma visão como que ecológica que faz a leitura do mundo em termos de relações e de integrações, que comprehende os sistemas naturais inseridos numa totalidade maior, onde a natureza e o indivíduo constituem uma unidade, um tipo de compreensão e leitura do mundo, capazes de provocar profundas mudanças em termos de nossas percepções e valores ao compreender o ser humano como parte de uma grande rede, um ser autônomo, mas, ao mesmo tempo, integrante de totalidades maiores, um fio particular numa rede onde todos estão inseridos.

Esse conjunto de idéias dá origem a uma matriz educacional que vai além da escola. Vai à procura de uma escola expandida que amplia os espaços de convivência e de aprendizagem, que quebra suas paredes em direção à comunidade, ao mesmo tempo em que sinaliza a importância da superação das barreiras existentes entre estas. Reconhece a ampliação dos espaços onde trafega o conhecimento e as mudanças no saber ocasionadas pelos avanços das tecnologias da informação e suas diversas possibilidades de associações, o que vem exigindo novas formas de simbolização e de representação do conhecimento, geradoras de novos modos de conhecer, que desenvolvem muito mais a imaginação e a intuição.

Como referido anteriormente, com a chegada das tecnologias instrumentais, em especial os computadores, está mudando a maneira de condução das pesquisas, de construção do conhecimento, a natureza das organizações e dos serviços, implicando novos métodos de produção do conhecimento e, principalmente, seu manejo criativo e crítico. Tudo isso nos leva a reforçar a importância dos novos ambientes de aprendizagem informatizados que possibilitem novas estratégias de ensino-aprendizagem, como instrumentos capazes de aumentar a motivação, a concentração e a autonomia, permitindo ao aluno a manipulação de sua própria representação e a organização do conhecimento. Ambientes que levem em conta as possibilidades de cooperação e de interação entre os sistemas de inteligência natural e artificial e que ofereçam melhores condições de preparação do indivíduo diminuindo a distância existente entre a escola e a vida, trazendo um pouco mais de vida para dentro da escola.

### **3. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, LÓGICA E ALGUMAS CONSIDERAÇÕES.**

#### **3.1 A Inteligência Artificial**

A inteligência artificial e a robótica sempre foram alvos de muitas especulações, debates e críticas estimuladas principalmente por idéias projetadas pelas estórias de ficção científica.

O avanço da ciência em certas áreas costuma provocar reações que tem origem no medo de uma inversão da "ordem natural das coisas".

Com a inteligência artificial não foi diferente, se por um lado algumas pessoas tinham expectativas benéficas muito elevadas, outras não acreditavam que fosse possível criar máquinas com inteligência e mesmo que se fosse possível isso seria algo extremamente negativo.

No entanto, a ciência costuma avançar de forma alheia a essas críticas. Seu avanço se dá justamente pela capacidade do homem de ignorar as críticas e ousar.

Mas dentre as várias máquinas criadas por ousadia e capacidade imaginativa do homem, inspirada em ficções, a que mais se destaca, desafiando a inteligência humana, é a possibilidade de criar máquinas inteligentes; robôs, capazes de tomar decisões e executar as mais diversas tarefas.

Apesar de não haver uma definição aceita de forma unânime sobre o que é inteligência se aceita que o ser humano possui um tipo de inteligência característica que se traduz pela capacidade de compreender e transformar o mundo à sua volta. O que levanta inclusive a questão: "há uma definição de inteligência ou ela é um conceito"? (aspas do autor)<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Seria talvez o caso de tratá-la segundo os campos conceituais, o que não é nosso propósito aqui.

O homem inicialmente voltou-se para compreender o mundo e posteriormente para conhecer a si mesmo e a sua origem. Esse anseio humano de conhecer não possui limites, alça vôo em busca do microcosmo (o constituinte primordial da matéria) e do macrocosmo (a origem do universo).

Na busca de conhecer a si mesmo o homem desenvolveu a genética e conseguiu revelar o constituinte básico da vida. No entanto, a inteligência humana continua sendo um mistério, para desvendá-lo a inteligência se tornou objeto da análise de si mesma.

Ao longo da história foram vários filósofos e cientistas que se dedicaram a análise dos vários aspectos constitutivos da inteligência humana. E embora o estudo sobre a inteligência tenha se iniciado dentro do campo de estudo da filosofia, o mesmo extrapolou o âmbito filosófico e a inteligência passou a ser estudada de forma científica por outros campos do saber humano, como pela engenharia, psicologia, pedagogia, ciência cognitiva, neurologia, lingüística, computação, entre outros, visando aspectos práticos e comerciais.

Assim como ocorreu com outras ciências que antes pertenciam ao campo de estudo da filosofia e depois se tornaram ciências independentes ou ramo de outras ciências, o mesmo ocorreu com o estudo da inteligência que hoje é alvo do estudo da ciência conhecida como inteligência artificial (IA).

A IA tem se destacado na busca por compreender a inteligência por englobar diversos campos do conhecimento com o objetivo prático de simular a inteligência. Ela tem se mostrado um campo de estudo multidisciplinar e interdisciplinar, que se apóia no conhecimento e evolução de outras áreas do conhecimento. Mas a inteligência artificial se desenvolveu principalmente graças a aparição da informática, por isso ela é mais confundida com seu aspecto informático.

A IA busca entender a mente humana e simular de certas formas seu comportamento, levantando questões como: Como ocorre o pensar? Como o homem extrai conhecimentos do mundo? Como a memória, os sentidos e a linguagem ajudam no desenvolvimento da inteligência? Como surgem as idéias? Como a mente processa informações e tira conclusões decidindo por uma coisa ao invés de outra? Essas são algumas perguntas que a IA precisa responder para simular o raciocínio humano e implementar aspectos da inteligência.

A IA fornece métodos e técnicas para o desenvolvimento de programas que simulam nas máquinas comportamentos inteligentes, isto é tornam os computadores capazes de pensar e tomar decisões. Por isso, as técnicas de IA necessitam de uma grande quantidade de

conhecimentos e de mecanismos de manipulação de símbolos. Esses conhecimentos devem ter a possibilidade de representação, modificação e ampliação.

Existem diversas técnicas de representação dos conhecimentos (fatos). A IA tem, na verdade, procurado encontrar formas de otimizá-las. Seu objetivo é o estudo e a modelagem da inteligência tratada como um fenômeno. A inteligência é algo extremamente complexo, resultado de milhões de anos de evolução, entendê-la, com certeza não é tarefa fácil, embora existam muitas conclusões relevantes, ainda há muito a ser desvendado, uma vez que não existe uma teoria completa sobre a mente humana e os processos de raciocínio.

A expressão comportamentos inteligentes traz à tona a idéia de máquinas capazes de pensar do mesmo modo que o ser humano, no entanto, para criar uma máquina inteligente não é necessário que ela tenha o mesmo nível de inteligência do homem.

Atualmente já existem máquinas que utilizam aspectos da inteligência humana para realizar tarefas e, no entanto, estão longe de serem comparadas com o nível de inteligência do homem.

O importante é o aspecto funcional ou prático da simulação da inteligência, por exemplo, um avião pode voar de maneira semelhante ao pássaro e não de forma igual, no entanto, isto não invalida ou diminui sua aplicabilidade e a contribuição que o mesmo tem dado para o desenvolvimento da humanidade.

Embora muitos avanços já tenham sido feitos nesse sentido e alguns aspectos da inteligência humana já tenham sido implementados em programas de computador, o fato da ciência não conhecer ainda os inúmeros processos que fazem o ser humano pensar não permite que se afirme com certeza que um dia poder-se-á criar máquinas que pensem como o ser humano.

A inteligência do homem está aliada à sua capacidade de interagir com o meio, através de habilidades cognitivas (sentidos) e conativas (ação), ou seja, se movimentar, reconhecer sons (fala) e imagens, se expressar, etc. Existe um esforço, principalmente no campo da robótica, no sentido de implementar essas habilidades nas máquinas inteligentes, de modo a propiciar uma maior interação com o meio e desenvolver padrões de inteligência envolvidos na aquisição do conhecimento, reconhecimento, aprendizado, etc.

A IA se desenvolveu em um estágio inicial da investigação sobre a inteligência. Na realidade qualquer especulação contra ou a favor da possibilidade ou não de criarmos máquinas com inteligência igual a do homem deve levar em consideração que a mesma é uma ciência que ainda está em fase de estruturação e que a cada ano surgem novos campos de pesquisa.

Não é possível se afirmar até onde a IA poderá chegar no propósito de criar máquinas capazes de pensar. Acredito serão ainda muitos anos de estudo para que seja possível compreender todos os fatores (conscientes, inconscientes, cognitivos, instintivos, etc.) envolvidos no processo do pensar. No entanto, alguns aspectos da inteligência já podem ser implementados e utilizados para auxiliar ou substituir o homem na realização de tarefas.

E quando chegarmos a compreensão dos fatores envolvidos nesse processo ainda haverá o desafio de encontrar formas de implementá-los no computador e desenvolver equipamentos adequados para otimizar essa implementação.

Uma das razões das críticas feitas à IA deve-se ao fato de que a inteligência sempre foi o argumento mais forte para diferenciar os homens dos animais. Mas será que ela também poderá ser utilizada para diferenciar os homens das máquinas inteligentes?

Outro argumento que tem sido colocado com freqüência é que mesmo que a máquina chegue a pensar, ela não pode ter sentimentos. Este argumento tenta sustentar que o ser humano possui "um algo a mais" que o diferencia da máquina. No entanto, fora esse intuito de defender a identidade humana como algo especial, esse tipo de discussão não tem efeito prático nenhum. Pois afinal para que o ser humano iria criar máquinas com sentimentos?

A visão da utilização de computadores na educação tem uma longa história. As aplicações educacionais utilizando-se desta tecnologia são desenvolvidas desde os anos 60.

Existe uma crescente tendência de incorporar princípios e estratégias cognitivas no processo de desenvolvimento destes sistemas, à medida que as perspectivas teóricas dos psicólogos educacionais tendem a migrar para a psicologia cognitiva.

Com a evolução das técnicas de Inteligência Artificial (IA) e das pesquisas no campo das ciências cognitivas, aumentou-se o grau de "inteligência" dos sistemas educacionais e antigas dificuldades estão sendo aos poucos superadas.

**Uma das principais motivações para as pesquisas em Inteligência Artificial na Educação, é o desenvolvimento de princípios pelos quais os ambientes de aprendizagem possam ser concebidos como lugares onde os estudantes possam ter experiências de aprendizagem individualizadas, isto é, experiências que sejam fundamentais e benéficas para eles, sem importar suas diferenças individuais, experiências anteriores, ou outras situações cognitivas.**

Assim, pela modelagem do estudante, estes sistemas podem personalizar a instrução, compatibilizando a apresentação com o nível de conhecimento do estudante e com o

seu índice de aprendizagem. Portanto, a maioria destes sistemas apresenta métodos educacionais que proporcionam uma forma de descoberta centrada no estudante, e os diálogos tutoriais são basicamente determinados pelo conhecimento conceitual e pelo comportamento de aprendizagem do estudante.

Como anteriormente comentado atualmente é aceito que qualquer sistema que tenha como objetivo principal a função de ensinar, deve incorporar princípios de IA.

Embora a área de IA seja estudada academicamente desde os anos 50, só recentemente tem gerado um interesse crescente por causa do surgimento de aplicações comerciais práticas. Um fator decisivo para o sucesso desta transição da academia para a indústria são os enormes avanços tecnológicos dos equipamentos computacionais ocorridos nas últimas duas décadas.

Um sistema IA não é capaz somente de armazenamento e manipulação de dados, mas também da aquisição, representação, e manipulação de conhecimento. Esta manipulação inclui a capacidade de deduzir ou inferir novos conhecimentos, novas relações sobre fatos e conceitos, isso feito a partir do conhecimento existente e utilizar métodos de representação e manipulação para resolver problemas complexos que são freqüentemente não-quantitativos por natureza.

Muitos pesquisadores hoje acreditam que IA é uma tecnologia chave para o software do futuro. As pesquisas em IA estão relacionadas com áreas de aplicação que estão envolvidas com o raciocínio humano, tentando imitá-lo e realizando inferências.

A esperança de grandes descobertas futuras em IA depende de vários fatores, tais como o crescimento do número de cientistas envolvidos nas pesquisas e avanços principalmente nas áreas da ciência da computação e da ciência cognitiva.

São vários os campos de aplicação da IA atualmente, dentre eles podemos destacar:

- Processamento de Linguagem Natural - É o estudo voltado para a construção de programas capazes de compreender a linguagem natural (interpretação) e gerar textos. A Geração de linguagem Natural é a produção de textos por um programa a partir de um conteúdo semântico representado internamente no próprio programa. Objetiva aperfeiçoar a comunicação entre as pessoas e os computadores.

- Reconhecimento de Padrões - É uma das áreas de pesquisa bem avançadas da IA. A capacidade de reconhecimento de padrões permite ao programa reconhecer a fala em linguagem natural, os caracteres digitados e a escrita (ex.: assinatura). Os scanners, por exemplo, utilizam programas de reconhecimento óptico desenvolvidos pelas pesquisas em IA.

- Visão de Computador - Busca desenvolver formas do computador trabalhar com a visão bidimensional e tridimensional.

- Programação de Jogos - É o estudo voltado para a construção de programas de jogos envolvendo raciocínio. Os jogos computadorizados são um grande sucesso, ainda mais quando exibem um tipo de inteligência capaz de desafiar as habilidades do jogador. O jogo de xadrez, por exemplo, foi utilizado para as primeiras experiências em programação do raciocínio artificial, onde o computador se tornou capaz de analisar milhões de jogadas por segundo para tentar derrotar o adversário. Além de analisar as jogadas, os programas utilizam um método heurístico que consiste na utilização de uma árvore de busca, a mesma possui ramificações a partir de certos nós, que representam pontos de decisão no caminho a tomar, com um determinado número de etapas, para chegar a um objetivo. Deste modo, ele pode analisar vários nós, de acordo com a situação atual do jogo, e escolher o melhor caminho (o mais curto ou menos arriscado).

- Robótica - É o campo de estudo voltado para desenvolver meios de construir máquinas que possam interagir com o meio (ver, ouvir e reagir aos estímulos sensoriais). Esta está em evidência dentro de um novo campo de desenvolvimento denominado Vida Artificial.

Nos sistemas de Vida Artificial<sup>2</sup>, o desenvolvimento da robótica, se faz a partir da busca de uma geração capaz de tomar decisões de acordo com as circunstâncias, ou em poucas palavras, a tentativa é de transformar o automático em autônomo.

Algumas das regras utilizadas pela inteligência artificial foram herdadas pela Vida Artificial. Mas estas regras só foram realmente se solidificando graças a incorporação de uma nova tendência científica surgida na década de 80 conhecida como Teoria do Caos. Aliás, pode-se dizer que das partes da ciência, responsáveis pelo surgimento da Vida Artificial a inteligência artificial se comporta como "o pai", a biologia "a mãe" e a matemática do caos como "o espírito", isto é, uma ciência que não foi percebida fisicamente, mas uma tendência comportamental padrão que todas as outras mantinham.

Os cientistas na verdade notaram que a própria natureza também seguia um padrão matemático de comportamento, que enfim, foi chamado de Teoria do Caos. A partir daí, todos os elementos e sistemas partidários desta teoria, passaram a ser conhecidos como sistemas

---

<sup>2</sup> Vida Artificial (Langton, 1995), ou Artificial Life - Alife, é uma área de pesquisa resultante da convergência entre biólogos, físicos, cientistas políticos, cientistas e engenheiros da computação, e mais recentemente economistas e sociólogos, em estudos de sistemas complexos, dinâmicos e adaptativos. Vida Artificial busca soluções para a síntese de sistemas complexos que apresentam características vitais como adaptação, reprodução, autonomia e cooperação.

não lineares, já que em suma não conseguiam mais ser colocadas em prática pela matemática Euclidiana clássica.

A partir daí surgiram os paradigmas do robô ideal, que contém as seguintes características:

- Capacidade de raciocinar, de acordo com o modelo do mundo e o problema a ser solucionado.
- Introspecção - Capacidade de examinar os processos do seu pensamento, de conhecer aquilo que sabe e o que não sabe, informando a diferença entre os dois.
- Conhecimento geral sobre o seu mundo e conhecimento específico sobre o problema.
- Regras ou outras formas racionais de organizar sua tomada de decisão.
- Capacidade de analisar a tarefa ou o problema e dividi-los em uma série de tarefas viáveis; planejar as ações para solucionar o problema, e levá-las adiante.
- Capacidade de fazer escolhas dentro de várias opções.
- Funcionamento em tempo real e no mundo real, como as pessoas.
- Detectar qual das suas ações ajudou a atingir um objetivo e quais as ações que não ajudaram.

No entanto, os robôs atuais não conseguiram cumprir todas estas regras.

Um grande computador atual pode processar bilhões de cálculos em segundos, mas não consegue interpretar sequer uma piada que até uma criança de quatro anos entenderia.

O que se pode esperar quando a análise é feita na natureza, onde as informações normalmente surgem de forma inesperada, ilógica ou irracional?

Sendo assim, surge a necessidade de uma conscientização por parte da ciência de que a maioria das informações ambientais são incertas, ou seja, que entre o "sim e não" (0 e 1), existe o "talvez".

Quando se observa os aspectos relacionados com o ensino/aprendizagem não é diferente, pois se está diante de uma situação natural, portanto "ambiental" como descrita anteriormente o que leva à certeza da existência de um "talvez".

Face a isso surge a obrigação de se refletir sobre a lógica na qual estão centrados a maior parte dos programas de computador e também a maior parte da matemática que conhecemos, na qual ela atua como elemento organizador.

### 3.2 A LÓGICA

A Lógica foi considerada na tradição clássica e medieval como instrumento indispensável ao pensamento científico. Atualmente é parte importante na metodologia dedutiva das ciências, além de constituir-se como um saber próprio, com abertura a relevantes problemas relacionados à teoria. Da Ciência Lógica nasceu a Lógica Matemática e, dentro desta, várias filosofias da lógica que interpretam os cálculos simbólicos e sua sistematização axiomática.

Faz-se interessante abordar em particular a questão do pensamento dedutivo e matemático, seus limites, o problema da relativa mecanização do pensamento quantitativo e os problemas da Inteligência Artificial.

A discussão e a busca da solução desses problemas criam a necessidade de uma abordagem também no campo filosófico, para que se possa analisar como se formou a base conceitual da chamada Teoria da Computabilidade, necessária para o advento dos computadores.

O início da ciência da Lógica encontra-se na antiga Grécia (Kneale, 1968). As polêmicas geradas pela teoria de Parmênides e os famosos argumentos de Zenão, que negavam a realidade do movimento fazendo um uso indevido do princípio da não-contradição, contribuíram para a distinção dos conceitos, para se ver a necessidade de argumentar com clareza, mediante demonstrações rigorosas, e assim responder às objeções dos adversários.

Mais tarde, as sutilezas dos sofistas, que reduziam todo o saber à arte de convencer pelas palavras, levaram Sócrates a defender o valor dos conceitos e tentar defini-los com precisão.

Assim a Lógica como ciência vai se formando pouco a pouco, principalmente com Sócrates e Platão. Mas Platão pensava que qualquer conteúdo da mente existia tal qual na realidade e Aristóteles reagindo ao seu mestre, diz que as idéias existem somente na mente humana, mas correspondendo a realidades.

Com Aristóteles é que se dá o verdadeiro nascimento da Lógica como ciência das idéias e dos processos da mente. "Até hoje não existe forma alguma concebível de lógica, por muito distinta que seja da lógica formal, que não tenha algum tipo de conexão com a obra aristotélica" (SCHOOLZ, APUD. AGAZZI, 1986).

Aristóteles foi o primeiro lógico formal da história, tendo desenvolvido ao menos duas formas distintas de lógica formal, elaborando algumas de suas partes de maneira

praticamente completa e deixando esboçados outros tipos de lógicas que somente na época atual foram novamente tratadas.

Aristóteles escreveu uma série de trabalhos que seriam editados por Andrônico de Rodes no século I d.C. e que receberam posteriormente o nome de Organon ("Instrumento"), de acordo com a concepção segundo a qual a Lógica deveria fornecer os instrumentos mentais necessários para enfrentar qualquer tipo de investigação.

Essa obra compreende os seguintes livros: Categorias, Analíticos I, Analíticos II, o Peri Hermeneias (ou sobre a interpretação), Tópicos e Refutação de argumentos sofistas. A grande novidade aristotélica está nos Analíticos, com o silogismo.

Aristóteles chamava a Lógica usando o termo "análítica" (e justamente "Analíticos" são intitulados os escritos fundamentais do Organon). A analítica (do grego *analysis*, que significa "resolução") explica o método pelo qual, partindo de uma dada conclusão, resolve-se precisamente nos elementos dos quais deriva, isto é, nas premissas e nos elementos de que brota, e assim fica fundamentada e justificada.

Aristóteles construiu uma sofisticada teoria dos argumentos, cujo núcleo é a caracterização e análise dos chamados silogismos, os típicos raciocínios da lógica aristotélica.

Conforme o próprio Aristóteles, "o silogismo é um discurso no qual, sendo admitidas algumas coisas, outra coisa distinta resulta necessariamente dessas coisas afirmadas primeiro, pelo único fato de que essas existem" (PÉREZ, 1988).

Nos Primeiros Analíticos, Aristóteles desenvolveu minuciosamente o sistema dos silogismos, mostrando os princípios maiores que o sustentam e as regras que lhe devem moldar a construção. Sua análise é bastante ampla e envolve inclusive as assim chamadas "modalidades" e os silogismos modais.

Entre as características mais importantes da silogística aristotélica está a de se ter pensado pela primeira vez na história da lógica em fazer uso de letras que poderiam ser usadas para uma expressão substantiva qualquer, fundamental para desenvolvimentos posteriores.

É também com Aristóteles que se encontra uma das primeiras tentativas de se estabelecer um rigor nas demonstrações matemáticas. Ao definir os dois tipos de demonstração, *quia* (dos efeitos às causas) e *propter quid* (das causas aos efeitos), dizia que as matemáticas utilizam preferencialmente esse modo de demonstrar, e por isso esta ciência é essencialmente dedutiva.

Ainda dentro do período que se estende de 4.200 a.C. até meados do ano 1600 d.C iniciou-se concretização de uma antiga meta que era a idéia de se reduzir todo raciocínio a um processo mecânico, baseado em algum tipo de cálculo formal.

Embora negligenciado pela ciência moderna, Raimundo Lúlio (1235-1316), espanhol, em seu trabalho *Ars Magna* (1305-1308), apresentou a primeira tentativa de um procedimento mecânico para produzir sentenças logicamente corretas (HERMES, 1969).

Lúlio acreditava que tinha encontrado um método que permitia, entre outras coisas, tirar todo tipo de conclusões, mediante um sistema de anéis circulares dispostos concentricamente, de diferentes tamanhos e graduáveis entre si, com letras em suas bordas. Invenção única através da qual tentou cobrir e gerar, representando com letras, que seriam espécies de categorias do conhecimento, todo o saber humano, sistematizado em uma gramática lógica.

Os procedimentos estabelecidos por Lúlio não obtiveram sucesso. Sendo que o mais importante em seu trabalho é a idéia concebida que acaba influenciando futuramente muitos matemáticos famosos, do nível de um Cardano (1545), Descartes (1598-1650), Leibniz (1646-1716), Cantor (1829-1920), entre outros.

Raimundo Lúlio é considerado o precursor da análise combinatória. Como dirá R. Blanché: "encontramos em Lúlio, pelos menos em germe e por mais que ele não soubesse tirar partido disso por inabilidade, duas idéias que iriam se tornar predominantes nas obras de Lógica, primeiro em Leibniz e depois em nossos contemporâneos: as idéias de característica e as idéias de cálculo (...). Com a ajuda desse simbolismo, eles pretendem permitir que as operações mentais frequentemente incertas fossem substituídas pela segurança de operações quase mecânicas, propostas de uma vez por todas"(REALLE,1991).

Pode-se ver em Raimundo Lúlio os primórdios do desenvolvimento da Lógica Matemática, isto é, de um novo tratamento da ciência da Lógica, uma espécie de procura por uma forma matemática.

A Lógica Matemática ergue-se a partir de duas idéias metodológicas essencialmente diferentes. Por um lado é um cálculo, daí sua conexão com a matemática. Por outro lado, caracteriza-se também pela idéia de uma demonstração exata e, neste sentido, não é uma imitação da matemática nem esta lhe serve de modelo, mas pelo contrário, à Lógica caberá investigar os fundamentos da matemática com métodos precisos e oferecer-lhe o instrumento para uma demonstração rigorosa.

A Lógica Moderna começou no século XVII com o filósofo e matemático alemão Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 - 1716). Seus estudos influenciaram, 200 anos mais tarde, vários ramos da Lógica Matemática moderna e outras áreas relacionadas.

Leibniz influenciou seus contemporâneos e sucessores através de seu ambicioso programa para a Lógica. Este programa visava criar uma linguagem universal baseada em um alfabeto do pensamento, uma espécie de cálculo universal para o raciocínio.

Na visão de Leibniz a linguagem universal deveria ser como a Álgebra ou como uma versão dos ideogramas chineses: uma coleção de sinais básicos que padronizassem noções simples não analíticas. Noções mais complexas teriam seu significado através de construções apropriadas envolvendo sinais básicos, que iriam assim refletir a estrutura das noções complexas e, na análise final, a realidade.

O uso de numerais para representar noções não analíticas poderia tornar possível que as verdades de qualquer ciência pudessem ser "calculadas" por operações aritméticas, desde que formuladas na referida linguagem universal (ENCICLOPÉDIA BRITÂNICA, 1979, VOL.XI). Com isso se poderia substituir o genérico "dialoguemos" por um mais exato "calculemos".

As discussões não seriam, assim, disputas controvertidas, de resultado duvidoso e final não concluído, mas sim formas de cálculo que estabelecessem a maior ou menor verdade de uma proposição.

Essa idéia de Leibniz sustentava-se em dois conceitos intimamente relacionados: o de um simbolismo universal e o de um cálculo de raciocínio (isto é, um método quase mecânico de raciocínio). Isso, para a computação, tem um particular interesse, pois esse cálculo de raciocínio de Leibniz contém o embrião da máquina de raciocinar buscada por Turing e depois pelos pesquisadores dentro do campo da Inteligência Artificial.

Leibniz, assim como Boole, Turing, e outros, perceberam a possibilidade da mecanização do cálculo aritmético. O próprio Leibniz, e Pascal um pouco antes, procuraram construir uma máquina de calcular.

Nota-se, portanto que o mesmo impulso intelectual que o levou ao desenvolvimento da Lógica Matemática o conduziu à busca da mecanização dos processos de raciocínio.

Leibniz, em seu esforço no sentido de reduzir as discussões lógicas a uma forma sistemática que pudesse ser universal, aproximou-se da Lógica Simbólica formal: símbolos ou ideogramas deveriam ser introduzidos para representar um pequeno número de conceitos fundamentais necessários ao pensamento. As idéias compostas deveriam ser formadas a partir desses "alfabetos" do pensamento humano, do mesmo modo como as fórmulas são desenvolvidas na Matemática (Boyer, 1974).

Isso o levou, entre outras coisas, a pensar em um sistema binário para a Aritmética e a demonstrar a vantagem de tal sistema sobre o decimal para dispositivos mecânicos de calcular.

A idéia de uma lógica estritamente formal, da construção de sistemas sem significado semântico, interpretáveis a posteriori, não tinha surgido. Duzentos anos mais tarde, George Boole formularia as regras básicas de um sistema simbólico para a lógica matemática, refinado posteriormente por outros matemáticos e aplicado à teoria dos conjuntos (ENCICLOPÉDIA BRITÂNICA, 1979, VOLIII) A álgebra booleana constituiu a base para o projeto de circuitos usados nos computadores eletrônicos digitais.

A partir de meados do século XIX, a lógica formal se elabora como um cálculo algébrico, adotando um simbolismo peculiar para as diversas operações lógicas.

Graças a esse novo método, puderam-se construir grandes sistemas axiomáticos de lógica, de maneira parecida com a matemática, com os quais se podem efetuar com rapidez e simplicidade raciocínios que a mente humana não consegue espontaneamente.

A Lógica Simbólica, Lógica Matemática a partir daqui, tem o mesmo objeto que a lógica formal tradicional: estudar e fazer explícitas as formas de inferência, deixando de lado, por abstração, o conteúdo de verdades que estas formas possam transmitir (Sanguineti,1982).

Não se trata aqui de estudar Lógica, mas de chamar a atenção para a perspectiva que se estava abrindo com o cálculo simbólico, a automatização de algumas operações do pensamento.

A Máquina de Turing, um conceito abstrato que efetivamente deu início à era dos computadores, baseou-se no princípio de que a simples aplicação de regras permite passar mecanicamente de uns símbolos a outros, sistema lógico que foi inaugurado pelo matemático George Boole.

Entretanto a lógica booleana estava limitada ao raciocínio proposicional, e somente mais tarde, com o desenvolvimento dos quantificadores, a lógica formal estava pronta para ser aplicada ao raciocínio matemático em geral.

Os primeiros sistemas foram desenvolvidos por F.L.G. Frege e G. Peano. Ao lado destes, George Cantor (1829 - 1920), matemático alemão que abriu um novo campo dentro do mundo da análise, nascida com Newton e Leibniz, com sua teoria sobre conjuntos infinitos (Bell,1937).

No início do século XX a Lógica Simbólica passa a se organizar com mais autonomia em relação à matemática e se elabora a partir de sistemas axiomáticos desenvolvidos, que se

colocam em alguns casos como fundamento da própria matemática e que, de certa forma acabem iniciando uma preparação para o surgimento do computador.

O inglês George Boole (1815 - 1864) é considerado o fundador da Lógica Simbólica (ENCICLOPÉDIA BRITÂNICA, 1979, VOLIII). Ele desenvolveu com sucesso o primeiro sistema formal para raciocínio lógico. Mais ainda, Boole foi o primeiro a enfatizar a possibilidade de se aplicar o cálculo formal a diferentes situações, e fazer operações com regras formais, desconsiderando noções primitivas.

Sem Boole, que era um professor autodidata em Matemática, o caminho pelo qual se ligou a Lógica à Matemática talvez demorasse muito a ser construído. Com relação à Computação, se a Máquina Analítica de Babbage foi apenas uma tentativa bem inspirada (que teve pouco efeito sobre os futuros construtores do computador), sem a álgebra booleana, no entanto, a tecnologia computacional não teria progredido com facilidade até alcançar a velocidade da eletrônica.

Durante quase mais de dois mil anos, a lógica formal dos gregos, conhecida pela sua formulação silogística, foi universalmente considerada como completa e incapaz de sofrer uma melhora essencial. Mais do que isso, a lógica aristotélica parecia estar destinada a ficar nas fronteiras da metafísica, já que somente se tratava, a grosso modo, de uma manipulação de palavras. Não se havia ainda dado o salto para um simbolismo efetivo, embora Leibniz já tivesse aberto o caminho com suas idéias sobre o que ele chamou de "alfabeto do pensamento".

Foi Boole, em sua obra *The Mathematical Analysis of Logic* (1847), quem forneceu uma idéia clara de formalismo. Ele percebeu que poderia ser construída uma álgebra de objetos que não fossem números, no sentido vulgar, e que tal álgebra, sob a forma de um cálculo abstrato, seria capaz de ter várias interpretações (Kneale, 1968).

O que mais chama a atenção na obra é a clara descrição do que seria a essência do cálculo, isto é, o formalismo, procedimento, conforme descreveu, "cuja validade não depende da interpretação dos símbolos, mas sim da exclusiva combinação dos mesmos" (Bochenksi, 1966).

Ele concebeu a lógica como uma construção formal para a qual se deve buscar posteriormente uma interpretação.

Boole criou o primeiro sistema bem sucedido para o raciocínio lógico, tendo sido pioneiro ao enfatizar a possibilidade de se aplicar o cálculo formal em diferentes situações e fazer cálculos de acordo com regras formais, desconsiderando as interpretações dos símbolos usados.

Através de símbolos e operações específicas, as proposições lógicas poderiam ser reduzidas a equações e as equações silogísticas poderiam ser computadas de acordo com as regras da álgebra ordinária.

Pela aplicação de operações matemáticas puras e contando com o conhecimento da álgebra booleana é possível tirar qualquer conclusão que esteja contida logicamente em qualquer conjunto de premissas específicas.

De especial interesse para a computação, sua idéia de um sistema matemático baseado em duas quantidades, o 'Universo' e o 'Nada', representados por '1' e '0', o levou a inventar um sistema de dois estados para a quantificação lógica. Mais tarde os construtores do primeiro computador entenderam que um sistema com somente dois valores pode compor mecanismos para perfazer cálculos.

George Boole estava convencido de que sua álgebra não somente tinha demonstrado a equivalência entre Matemática e Lógica, como representava a sistematização do pensamento humano.

Na verdade a ciência, depois dele, principalmente com Husserl, pai da Fenomenologia, demonstrará que a razão humana é mais complicada e ambígua, difícil de ser conceituada e mais poderosa que a lógica formal, mas do ponto de vista da Matemática e da Computação, a álgebra booleana foi importante, e só os anos fizeram ver, pois a lógica até então era incompleta e não explicava muitos princípios de dedução empregados em raciocínios matemáticos elementares.

Mas, a lógica booleana estava limitada ao raciocínio proposicional, e somente após o desenvolvimento de quantificadores, introduzidos por Peirce, é que a lógica formal pôde ser aplicada ao raciocínio matemático geral.

Além de Peirce, também Schröeder e Jevons aperfeiçoaram e superaram algumas restrições do sistema booleano como a disjunção exclusiva, emprego da letra v para exprimir proposições existenciais, admissão de coeficientes numéricos além do 0 e 1 e o emprego do sinal de divisão. O resultado mais importante, no entanto, foi a apresentação do cálculo de uma forma extremamente axiomatizada.

As idéias de Boole representaram um grande passo na ciência da computação, no sentido de auxiliar na simulação e implementação do processo do raciocínio na máquina.

No século XX surgiram vários outros princípios da lógica, que auxiliaram a construção de programas de computador, como por exemplo, a teoria da demonstração por

refutação de Herbrand(1930), o princípio da resolução de Robinson (1965) e a SLD resolution de Kowalski(1971).

Quando da publicação de sua obra “Investigação sobre as Leis do Pensamento” em 1849, Boole deu início à simbolização ou matematização da lógica fazendo-a alcançar um desenvolvimento extraordinário com implicações em praticamente todos os campos do saber humano.

Apesar de todo o desenvolvimento os princípios básicos da lógica aristotélica não foram questionados, dentre eles o chamado Princípio da Não Contradição, segundo o qual uma declaração é falsa ou verdadeira, não podendo ser ao mesmo tempo parcialmente verdadeira ou parcialmente falsa.

Na década de 60, um afgão, professor de engenharia elétrica e ciências da computação da universidade de Berkeley na Califórnia, chamado Lotfi A. Zadeh, observou que muitas regras usadas pelas pessoas para fazer inferências não eram consistentes e não podiam ser explicadas pelas pessoas que as usavam. Para exemplificar pode-se dizer ao observar uma pessoa “ela parece ter em média 30 anos”, no entanto não há como explicar de que forma se chega a esse tipo de conclusão.

O professor Zadeh, observou ainda, que os recursos tecnológicos disponíveis eram incapazes de automatizar as atividades que compreendessem situações ambíguas, não passíveis de processamento através da lógica computacional fundamentada na lógica booleana. Na tentativa de propor soluções para esses problemas Zadeh desenvolveu uma variação da tradicional teoria de conjuntos e da lógica booleana tornando análise e o controle de sistemas complexos mais estáveis, surgiu a lógica fuzzy.

O termo fuzzy significa nebuloso, difuso, algo que não está claro. Em muitos problemas da Física e da Matemática não há a menor dificuldade em se classificar os elementos como pertencente ou não a um dado conjunto clássico.

E notório que, dado um conjunto  $A$  e um elemento  $x$  do conjunto universo  $U$ , é possível afirmar se  $x \in A$  ou  $x \notin A$ , por exemplo, é perfeitamente possível afirmar que  $5 \in N$  e que  $-5 \notin N$ , o que demonstra que a lógica Booleana é perfeitamente aplicável para este caso. No entanto, se a análise for feita quanto ao fato do 4,5 pertencer ou não ao conjunto dos números aproximadamente iguais a 5 a resposta nunca é objetiva, pois a pertinência ou não será dependente do tipo de problema que estará sendo analisado.

A intenção de Zadeh foi justamente a de trabalhar de forma a flexibilizar a pertinência de elementos aos conjuntos, criando uma idéia de grau de pertinência. Podendo, assim, um determinado elemento pertencer parcialmente a um conjunto.

Se a idéia for, por exemplo, a construção de um conjunto formado por números aproximadamente iguais a 5, será que os números 2 e 10 pertenceriam a ele? A resposta é algo que depende do contexto. A proposta feita por Zadeh e que se considere uma capaz de identificar o “quanto” um determinado elemento pertence ao conjunto considerado.

Sendo assim, denominando-se por  $P$  o conjunto dos números aproximadamente iguais a 5, no universo do números naturais  $N$ , pode-se propor uma função de pertinência dada por:

- $10 \in P$  com grau de pertinência zero (não pertinência).
- $2 \in P$  com grau de pertinência 0,25.
- $3 \in P$  com grau de pertinência 0,50.
- $4 \in P$  com grau de pertinência 0,75.
- $5 \in P$  com grau de pertinência 1 (pertinência total).

Esta extensão da função característica da lógica clássica para o intervalo  $[0,1]$ , de origem aos conjuntos fuzzy possibilitando, entre outras coisas, a utilização de variáveis lingüísticas e a exploração do conhecimento humano no desenvolvimento de vários sistemas.

Muitas das experiências humanas não podem ser classificadas simplesmente como verdadeiras ou falsas, sim ou não, branco ou preto. Premissa básica da lógica formal em sua constituição binária. A lógica fuzzy rompe com esta suposição, essa idéia de falso e verdadeiro, de 0 ou 1.

O conceito de dualidade estabelece que algo pode e deve coexistir com seu oposto o que a faz parecer extremamente natural e até mesmo inevitável.

### **3.3 Algumas Considerações:**

Ao observar a Inteligência Artificial como um conceito, percebe-se que todos os esforços aplicados às mais diversas áreas de sua atuação, no que tange à criação de um ambiente que conjugue de suas características está ainda muito longe de contemplar uma totalidade desse conceito.

Cada software, cada tutor, cada ambiente criado com base nas estruturas de I. A., sejam eles oriundos do desenvolvimento de Vida Artificial, programação em lógica (linguagem como o Prolog ou o Lisp),etc,acabam se apropriando de somente parte desse conceito maior.

Na verdade fazendo uso de somente parte de suas características e conjuntos de definições. Além disso, esbarram principalmente em dificuldades oriundas do próprio ferramental que de uma forma ou de outra acaba gerando uma dependência em relação à lógica no seu formato binário {0,1}.

Se fosse possível construir uma I. A. com o uso dos recursos (hardware e software) atuais seria equivalente a se conseguir reduzir todos os processos complexos dessa I.A. à lógica binária, inclusive as contradições e conflitos capazes de contemplar a possibilidade de um talvez.

## **4. UM REFERENCIAL DE IMPLEMENTAÇÃO - OS AUTORES E SUAS IDÉIAS**

Esse capítulo tem por objetivo apresentar as principais idéias dos autores que se pretende possam formar a base de formulação das idéias com relação à proposição de um STI.

Cada uma destas idéias deverá, em situação posterior, estar sendo empregadas de forma individual ou em conjunto, aparecendo uma única vez ou várias na constituição de cada um dos modelos que integram um STI. Como é o caso do modelo estudante, o modelo pedagógico, etc.

A exposição de tais idéias se deve à crença na necessidade de uma fundamentação filosófica, psicológica e pedagógica capazes de fornecer as bases para a formação de um STI. Bases que permitam formular um STI capaz de se apresentar de forma totalmente diferenciada em relação ao comentado em capítulo anterior dessa dissertação quando seus principais problemas foram apontados.

### **4.1 Pierre Lévy**

Pierre Lévy nasceu em 2 de julho de 1956, em Tunis. Completou inicialmente estudos em história e, a seguir, em história das ciências. Teve sua vocação de pesquisador definitivamente despertada, ao seguir os cursos de Michel Serres na Sorbonne.

Em 1983, defende uma tese de sociologia sobre a idéia de liberdade na Antigüidade, orientada por Cornelius Castoriadis, na Ecole de Hautes-Etudes en Sciences Sociales. Em seguida, passa a freqüentar os cursos noturnos de informática do Conservatoire National des Arts et Métiers.

Convencido de que as técnicas de comunicação e os sistemas de signos exercem um papel fundamental na evolução cultural em geral, ele assumiu como sua principal tarefa pensar aquela que ele próprio denomina a “revolução numérica” contemporânea nos planos filosófico, estético, educacional e antropológico.

Entre os anos de 1984 e 1985 trabalha na Ecole Polytechnique, em pesquisas sobre o nascimento da cibernetica e da inteligência artificial.

No ano de 1987, publica sua primeira obra, *A Máquina Universo – criação, cognição e cultura informática*. (Porto Alegre, Ed. ArtMed, 1998; ed. francesa de 1987), sobre as implicações culturais da informatização e suas raízes na história do Ocidente.

A seguir, em 1989 participa da equipe reunida por Michel Serres para redigir os *Elements d'histoire des sciences*, escrevendo o capítulo sobre a invenção do computador.

De 1987 a 1989, atua como professor convidado na Universidade de Quebec na disciplina de comunicação. Durante este período, aprofunda seus conhecimentos na área das ciências cognitivas e descobre o mundo nascente do hipertexto e da multimídia interativa.

Essa experiência na América do Norte rende o seu segundo livro, e que talvez seja o mais conhecido: *As Tecnologias da Inteligência – o futuro do pensamento na era da informática*. (São Paulo, Ed.34, 1993; ed. francesa 1990).

Após esse período, de volta à Europa, começa a imaginar um sistema de escrita icônica e interativa, uma nova forma de escrita que agora poderia ser “inventada”. Dispondo de suportes dinâmicos e interativos como as telas de um computador, ao invés de um suporte fixo, como o que tem sido empregado até aqui, o papel.

Sistematiza um sistema de signos com essas idéias em *A ideografia dinâmica – rumo a uma imaginação artificial?* (São Paulo, Loyola, 1998; ed. francesa 1991).

Entre 1989 a 1991, passa a ensinar tecnologias para a educação e ciências cognitivas em Nanterre.

A partir de 1990, passa a dirigir, em colaboração com Michel Authier, pesquisas e reflexões sobre as novas formas de acesso à informação, que se tornam possíveis graças ao desenvolvimento de novos instrumentos numéricos. Juntos, formulam o conceito de “cosmopédia”: enciclopédia em forma de mundo virtual que se reorganiza e se enriquece automaticamente, segundo as explorações e interrogações daqueles que nela mergulham.

No período compreendido entre 1991 e 1993 Pierre Lévy e Michel Authier desenvolveram uma aplicação particular da “cosmopédia”: o sistema conhecido como “árvores de conhecimento”. Essa pesquisa e sua formulação foram enquadradas na chamada “Mission Serres” lançada pela primeira-ministra Edith Cresson.

Em 1992, co-assinam um livro com o mesmo nome, prefaciado por Michel Serres, descrevendo o projeto: *Les Arbres de Connaissances*. (Paris, La Découverte, 1992).

No mesmo ano, Lévy publica *De la programmation considérée comme un des beaux-arts*. (Paris, La Découverte, 1992), que analisa os atos cognitivos e sociais operados por programadores, mostrando que a informática não é exatamente uma técnica “fria”, como habitualmente se imagina.

A partir de 1993, passa a ser professor do Departamento de Hipermídia da Universidade de Paris, em St-Denis.

Suas publicações mais recentes são: *A Inteligência Coletiva – por uma antropologia do ciberespaço*. (São Paulo, Loyola, 1998; ed. francesa 1994) e *O que é o virtual?* (São Paulo, Ed.34, 1996; ed. francesa 1995). Nesta última obra, Lévy analisa a mutação contemporânea do corpo, da cultura e da economia, no sentido do que ele chama de virtualização crescente, sem adotar um ponto de vista catastrofista, mas percebendo neste movimento o prosseguimento do processo de hominização, isto é, o prosseguimento do processo, não terminado, de surgimento do gênero humano.

Com a coragem, muitas vezes rara entre intelectuais de formação humanista, de ser francamente otimista em relação às possibilidades abertas à humanidade pelas novas tecnologias numéricas, Lévy, apesar de encabeçar o grupo dos pesquisadores que afirmam que um projeto de tecnodemocracia será bastante facilitado pela expansão das redes interligadas não se restringe a pensá-las apenas no campo político, mas vê novas possibilidades se abrindo, até mesmo, no campo filosófico.

Pierre Lévy, que em entrevista concedida à agência RBS de notícias de Porto Alegre em 23/05/2000 diz acreditar na possibilidade do que chama de “um sistema filosófico da imanência, intrinsecamente hipertextual, icônico e interativo, uma espécie de I Ching do século XXI, e que deveria ser consultado de maneira interativa na web, e servir de plataforma de orientação para pesquisas em filosofia e ciências humanas bem como servir de apoio à pesquisa-ação na área da educação”. (Informação verbal);

#### **4.1.1 Suas Idéias**

Para que se possa conhecer algumas das idéias propostas por Lévy é necessário conhecer um pouco sobre suas obras. Dentre elas várias merecem destaque pelo seu teor e por tratarem de assuntos de suma relevância nas proposições que futuramente surgiram nesse trabalho.

Em sua obra "As tecnologias da inteligência: o futuro do pensamento na era da informática" Lévy, ao se referir às influências das técnicas sobre as formas de organização social diz: "*A situação técnica inclina, pesa, pode mesmo interditar. Mas não dita*".

Ele coloca que ao longo da história, o que se percebe é que o surgimento de novos dispositivos de comunicação produz simultaneamente modificações na estrutura do pensamento, nos modos de apreensão do conhecimento e nas interações sociais em geral e que tal constatação poderia conduzir à visão determinista que durante muito tempo norteou o debate teórico sobre a técnica, ou seja, a de que toda inovação técnica engendra novas formas de organização social. No entanto para ele determinado estágio das técnicas permitiria algumas, mas não outras possibilidades para uma dada cultura.

Portanto no momento em que um novo meio de comunicação surge normalmente os meios já existentes são colocados em choque. O processo de transição não leva necessariamente a uma substituição do antigo pelo novo, e sim a uma espécie de readaptação, a um reajustamento de funções e finalidades.

Tanto é assim que há 35 séculos a escrita alfabetica sobrevive, tendo apenas adquirido diferentes roupagens durante sua longa existência, que vão desde a pedra até a tela do computador. A oralidade ainda constitui nosso principal meio de comunicação interpessoal pelo simples fato de que nos expressamos primordialmente através da fala. Até hoje boa parte da informação continua circulando por outros circuitos que não os da escrita e dos relacionados à mídia eletrônica.

Tomando como base as categorias usadas pelo autor para classificar as culturas de acordo com a presença ou ausência de determinadas tecnologias intelectuais de comunicação, pode-se ver como a sucessão da oralidade para a escrita e da escrita para a informática provocou modificações profundas nos referenciais espaço-temporais e nas representações de um modo geral. No entanto, esses "ritos de passagem" das sociedades humanas não acarretam a negação das fases anteriores. Ou como o próprio Lévy ressalta, "a sucessão não se dá por substituição, mas por complexificação e deslocamento de centros de gravidade".

Nas sociedades ágrafas, como não existia a separação entre o escrito e o falado, a palavra possuía um status bem diferente daquele que lhe é atribuído após o surgimento da escrita. Dessa forma, Lévy sugere fazer a distinção entre a oralidade primária, na qual a

palavra, por ser o único canal de informação, é responsável pela gestão da memória social e a oralidade secundária, em que a palavra (falada) tem uma função complementar à da escrita (e posteriormente à dos meios eletrônicos), sendo utilizada basicamente para a comunicação cotidiana entre as pessoas.

Antes da invenção da escrita, todo o saber era transmitido oralmente. A memória humana (essencialmente a auditiva) era o único recurso de que dispunham as culturas orais para o armazenamento e a transmissão do conhecimento às futuras gerações. A inteligência, portanto, estava intimamente relacionada à memória. Os mais velhos eram reconhecidos como os mais sábios, já que detinham o conhecimento acumulado. A figura do mestre, aquele que transmite seu ofício, também exerce um papel importante nesse tipo de sociedade.

Apesar dos aspectos teológicos, a memorização desempenha uma função mnemotécnica nas sociedades sem escrita. O mito encarna, através dos deuses e dos feitos de seus heróis e ancestrais, as principais representações de uma comunidade.

Segundo Lévy, esse tipo de narrativa era a melhor estratégia de codificação à disposição das culturas que não possuíam outro instrumento de inscrição além da própria memória.

*"As representações que têm mais chances de sobreviver em um ambiente composto quase que unicamente por memórias humanas são aquelas que estão codificadas em narrativas dramáticas, agradáveis de serem ouvidas, trazendo uma forte carga emotiva e acompanhadas de músicas e rituais diversos".*

Estas sociedades que antecedem a escrita costumam também receber a denominação de sociedades tradicionais, já que nelas o conhecimento é passado de geração a geração por meio da tradição.

Para que determinado saber ou fazer se perpetue é necessário que seja escutado, observado, imitado, repetido e reiterado. A noção de tempo está mais ligada à idéia de ciclos que se repetem do que a de acontecimentos que se sucedem. A temporalidade nessas sociedades é, portanto marcada por um movimento como que cílico de retorno.

Para explicar a nova relação com o tempo instaurada pelo surgimento da escrita, o autor faz uma analogia à invenção da agricultura durante a chamada revolução neolítica. Até porque esta nova técnica de comunicação surgiu em diferentes momentos nas grandes sociedades agrícolas da Antiguidade.

Enquanto na caça e na coleta as decisões são simultâneas à ação e apresentam resultados imediatos, a agricultura exige uma organização planejada do tempo, em função, por exemplo, das estações e do período de maturação dos grãos. Do mesmo modo que a atividade

agrícola pressupõe um intervalo entre o plantio e a colheita, a escrita estabelece um tempo diferido entre a emissão e a recepção da mensagem.

A escrita também inaugura uma nova modalidade de comunicação à distância e "in absentia". Os interlocutores não precisam estar presentes no mesmo instante e no mesmo local em que o discurso é produzido.

O corte espaço-temporal estabelecido pela escrita vai possibilitar o surgimento, mesmo que de forma ainda embrionária, do fenômeno da comunicação de massa, que se intensificará posteriormente com a impressão e o aparecimento dos meios eletrônicos.

Um livro pode ser lido por pessoas diferentes em qualquer lugar do mundo. O fato de o autor estar distante, e muitas vezes, não conhecer seu leitor ou leitores, cria novas situações associadas à comunicação.

Nas sociedades orais, o narrador adequava sua fala ao contexto da enunciação e à platéia que o ouvia. Da mesma forma, o mensageiro ajustava o que o remetente lhe mandou dizer de acordo com o estado de humor e a receptividade do destinatário.

Ao contrário dessa maleabilidade da transmissão oral, a transmissão escrita é rígida, unilateral e descontextualizada.

Na mensagem escrita a intenção do autor torna-se muitas vezes ambígua e incerta, exigindo a interpretação do leitor. Essa tensão semântica teve como consequência o aumento da produção de textos, na medida em que uma série de estudos, comentários e debates foram suscitados a partir dos originais.

Esse novo ambiente criado pela escrita propicia a ascensão do saber teórico. Com a autonomia alcançada pelas mensagens em relação às circunstâncias em que são produzidas, os discursos passam a ser construídos com vistas à universalidade.

Com o surgimento da escrita, as narrativas míticas perdem sua funcionalidade enquanto elementos de perpetuação das representações de uma cultura. A memória torna-se independente do indivíduo e da coletividade, já que há um mecanismo de inscrição externa e literal. Todo o saber pode ser estocado e consultado posteriormente sem os riscos de perdas e deformações que caracterizavam a passagem do conhecimento pela tradição.

A escrita é condição necessária, embora não seja suficiente, para o surgimento do pensamento lógico ou racional. Sabe-se que nas sociedades orais os indivíduos tendem a pensar através de situações concretas relacionadas a sua vida cotidiana.

Na cultura alfabetizada o conhecimento empírico dá lugar à abstração teórica e a experiência passa a ser traduzida na forma de um conjunto de conceitos imutáveis. O acúmulo

gradativo de informações transmissíveis para as gerações seguintes rompe o círculo da oralidade, transformando-o em uma espécie de linha reta.

Surgem então referências fixas: calendários, datas e arquivos. O tempo pode ser agora medido em dias, meses e anos, e a existência da humanidade, dividida em idades, dinastias e eras. A idéia de progressão elimina a sensação de eterno retorno e instaura o curso linear e uniforme da história.

A utilização do computador enquanto tecnologia de comunicação nos coloca, nos dias de hoje diante de mudanças tão radicais como as que ocorreram com o aparecimento da escrita.

As grandes redes são capazes de interligar a todos em um mundo sem fronteiras. O fluxo de informações adquire uma dimensão e uma velocidade sem precedentes. A informática de certa forma seguiu o mesmo caminho da escrita, concebida inicialmente para cálculos e estatísticas, transformou-se depois em um meio de comunicação de massa. No entanto, ao contrário da escrita, as novas tecnologias de comunicação revelam um enorme potencial de convivência, conduzindo a um movimento quase que de retrabalização que se aproxima das formas de interação características da oralidade.

Conectados à rede que associa a mídia e a informática, os protagonistas da comunicação podem partilhar o mesmo contexto, formando comunidades virtuais. Pela primeira vez temos a união de duas características até então opostas na comunicação: a massividade e a interatividade.

O potencial dialógico do novo meio não se manifesta somente pelo fato de várias pessoas em diferentes pontos do mundo poderem se comunicar em tempo real, mas na própria relação do homem com a máquina.

A informática abre-nos a possibilidade de manipulação do conteúdo da informação à nossa disposição.

Enquanto a oralidade gerou a noção de tempo circular e a escrita a de tempo linear, o tempo da informática é o do agora, do momento em andamento no presente, que Lévy chama de "tempo pontual".

Lévy ainda questiona a validade do conceito de memória, já que esta se encontra tão objetivada nos dispositivos automáticos e tão distante dos indivíduos e da coletividade.

Devido à velocidade de circulação das informações, o conhecimento está em permanente mutação. A verdade científica perde de certa forma sua importância, já que o saber produzido torna-se cada vez mais flexível. A pretensão à universalidade e à objetividade não tem mais tanto sentido, o que vale agora é a pertinência e a operacionalidade.

Enquanto para o conhecimento teórico o que interessa é o "por quê?", vivemos no mundo digital a época do "como". A explicação e a descrição analógicas são substituídas pela simulação introduzida pela possibilidade de explorar o texto de forma interativa através do hipertexto que, de certa forma, desterritorializa o texto, tornando-o totalmente sem fronteiras.

#### 4.1.2 O Hipertexto

A história do hipertexto se confunde com a própria história do texto quando ele é visto de uma forma, por assim dizer, tradicional. Um bom exemplo de um hipertexto tradicional são as anotações deixadas por Leonardo da Vinci, além de vários outros exemplos existentes ao longo da história da literatura. O que difere tal hipertexto tradicional do hipertexto que se conhece nos dias de hoje é o computador, que o transforma, como resultado direto dos avanços dos modos de registro, armazenamento e circulação das informações. São esses avanços que fazem com que o hipertexto de hoje passe a ser visto de forma bastante diferente se comparado à época em que o próprio termo foi criado por Ted Nelson ou profetizado por Vannevar Bush, assumindo a forma de um texto conectado, com todos os textos existentes, em tempo real. Assim como na passagem da oralidade para escrita e desta para o impresso, no hipertexto algo muda radicalmente os conceitos sobre como ler, escrever e conhecer.

É nesta perspectiva que a figura de Bush assume uma importância marcante na história do hipertexto, com a publicação, em 1945, do clássico ensaio "As We May Think". Neste ensaio Bush esboça o "Memex" que, de alguma maneira, representa hoje o nosso computador pessoal. Como matemático que era e responsável por uma agência de Desenvolvimento e Pesquisa Científica do Governo Norte Americano, ele coordenava o trabalho de mais de seis mil cientistas.

Uma das questões que ele enfrentava era o volume crescente de dados que deviam ser armazenados e organizados de tal forma que permitisse a outros pesquisadores a utilização destas informações de maneira rápida e eficiente e estava convencido quanto à necessidade de mudanças na forma de armazenar, sistematizar e tornar acessível de forma simples e direta as informações para estabelecer uma nova era para o conhecimento humano. Para tal aponta como de fundamental importância os processos de miniaturização na forma como os conhecimentos deviam ser armazenados.

Esta preocupação com o volume crescente de dados e o seu registro, transporte e acesso continua sendo tão atual quanto naquela época.

As idéias de Bush foram fecundas o suficiente para criar seguidores que efetivamente vieram a forjar o hipertexto tal como o conhecemos hoje.

Outro personagem de fundamental importância como nos informa Lévy é Douglas Engelbart, diretor do Augmentation Research Center (ARC) do Stanford Research Institute, onde foram testadas pela primeira vez a tela com múltiplas janelas de trabalho, a possibilidade de manipular, com a ajuda de um mouse, complexos informacionais representados na tela por um símbolo gráfico, as conexões associativas (hipertextuais) em bancos de dados ou entre documentos escritos por autores diferentes e os grafos dinâmicos para representar estruturas conceituais (os sistemas de ajuda ao usuário integrados ao programa, conhecido popularmente como "Help").

Os trabalhos fundamentais destes pioneiros permitiram o surgimento de pequenas empresas de informática em torno do Vale do Silício nos Estados Unidos dentre as quais algumas ocupam certamente um lugar de grande importância na história do hipertexto.

Os estudos sobre os processos de comunicação na era dos meios eletrônicos percorrem o inevitável caminho de construir e reconstruir conceitos. As categorias conceituais que compõem o universo da chamada comunicação contemporânea não têm características rígidas e guardam entre si uma estreita relação.

Noções como interface, interatividade, hipertexto, hipermídia, virtual, ciberespaço, cibercultura e outras, parecem indicar não apenas uma redefinição do papel dos meios de comunicação no contexto histórico e cultural da humanidade, mas um novo direcionamento das relações do homem com tudo que cria, da palavra como ordenação do pensamento ao moderno e sofisticado computador.

Se a hipertextualidade não é uma novidade, visto que são encontrados alguns registros históricos dessa estrutura narrativa em obras da literatura e da filosofia, ela ganha impulso com o avanço da crescente ação dialógica entre o homem e a técnica.

Tomando a concepção de hipertextualidade como ponto de convergência de outros conceitos, constata-se que ela revela os limites, e por isso mesmo a falência do discurso tradicionalmente lógico, acabado e fechado em si.

As infinitas possibilidades de conexões entre trechos de textos e textos inteiros favorecem a flexibilização das fronteiras entre as mais diferentes áreas do conhecimento humano.

Para Lévy (1993) o hipertexto é um conjunto de nós ligados por conexões. Onde esses nós podem ser palavras, páginas, imagens, gráficos, seqüências sonoras e ou documentos complexos e que podem eles mesmos constituir um hipertexto. Os itens de formação não são ligados linearmente, como em uma corda com um nó, mas cada um deles, ou a maioria, estende suas conexões em forma de uma estrela, de um modo reticular.

Para caracterizar o hipertexto, Lévy recorre a seis princípios, que proporcionam uma visão panorâmica, organizam, resumem e ampliam a idéia de rede que se pretende construir.

São eles:

- Princípio de metamorfose: que explicita a idéia de que a rede de significações que constitui o conhecimento está em permanente transformação.

Conforme Lévy, "a rede hipertextual está em constante construção e renegociação. Ela pode permanecer estável durante certo tempo, mas esta estabilidade é em si mesma fruto de um trabalho. Sua extensão, sua composição e seu desenho estão permanentemente em jogo para os atores envolvidos, sejam eles humanos, palavras, imagens, traços de imagens ou de contexto, objetos técnicos, componentes destes objetos".(LÉVY, 1993:25);

- O princípio da heterogeneidade: os nós e as conexões de uma rede hipertextual são heterogêneos, já que na memória serão encontradas imagens, sons, palavras, diversas sensações, modelos, etc., e as conexões serão lógicas, afetivas, etc. Na comunicação, as mensagens serão multimídias multimodais, analógicas, digitais, etc. O processo sociotécnico colocará em jogo pessoas, grupos, artefatos, forças naturais de todos os tamanhos, com todos os tipos de associações que pudermos imaginar entre estes elementos.

- Princípio de multiplicidade e de encaixe das escalas: O hipertexto se organiza em um modo "fractal", ou seja, qualquer nó ou conexão, quando analisado, pode revelar-se como sendo composto por toda uma rede, e assim por diante, indefinidamente, ao longo da escala de graus de precisão.

- Princípio de exterioridade: A rede não possui unidade orgânica, nem motor interno. Seu crescimento e sua diminuição, sua composição e sua recomposição permanente dependem de um exterior indeterminado: adição de novos elementos, conexões com outras redes.

- Princípio de topologia: Nos hipertextos, tudo funciona por proximidade, por vizinhança. Neles, o curso dos acontecimentos é uma questão de topologia, de caminhos. Não há espaço universal homogêneo onde haja forças de ligação e separação, onde as mensagens poderiam circular livremente. Tudo que se desloca deve utilizar-se da rede hipertextual tal como ela se encontra, ou então será obrigado a modificá-la. A rede não está no espaço, ela é o espaço.

A rede não tem centro, ou melhor, possui permanentemente diversos centros que são como pontas luminosas perpetuamente móveis, saltando de um nó para outro, trazendo ao redor de si uma ramificação infinita de pequenas raízes, de rizomas, finas linhas brancas esboçando por um instante um mapa qualquer com detalhes delicados, e depois correndo para desenhar mais à frente outras paisagens do sentido.

#### REDE CONCEITUAL

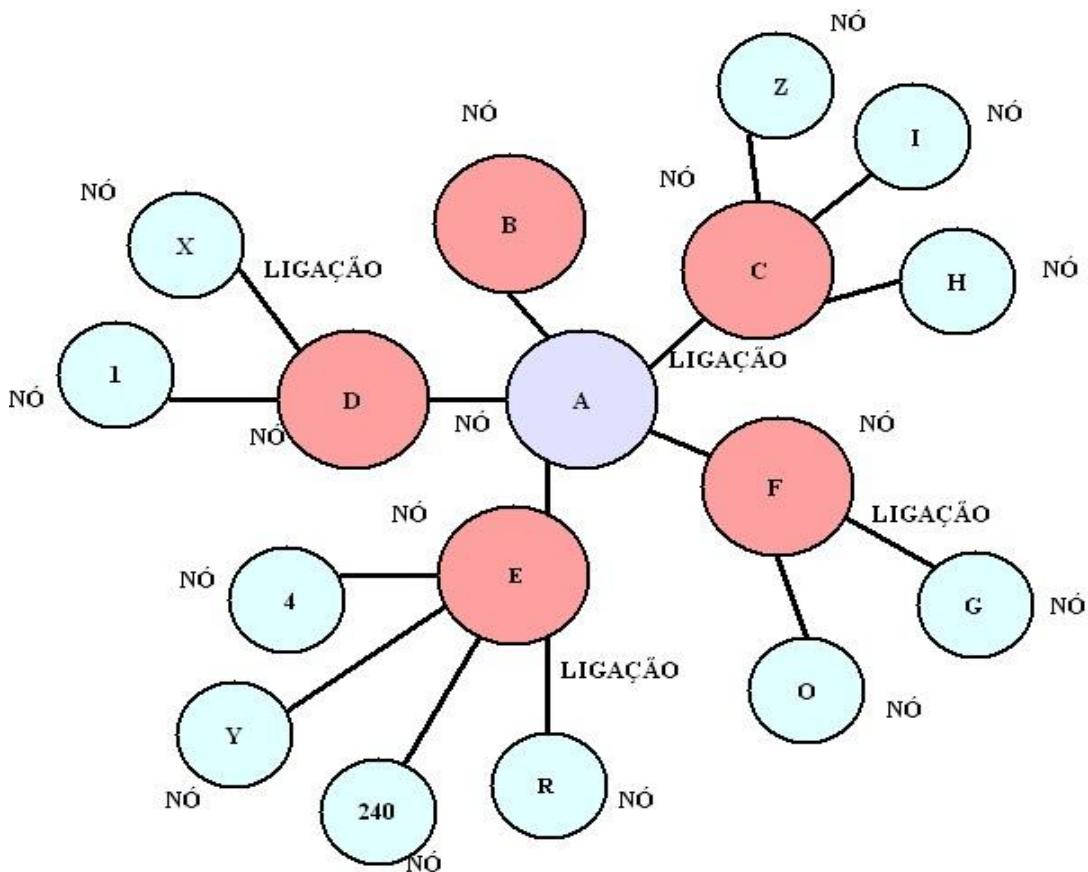


Figura 16: A estrutura de uma Rede Conceitual.

## REDE CONCEITUAL– O HIPERTEXTO NA TELA DO COMPUTADOR



Figura 17: O Hipertexto na tela do computador.

A figura acima representa uma tela de computador com janelas onde cada uma contém textos, imagens, animações, sons, etc e que são denominadas de nós, representando a idéia de rede conceitual.

O surgimento das janelas se dá pelo acionamento das ligações existentes entre os nós. Observa-se que o usuário tem uma visão dos conteúdos de cada uma delas, podendo acionar as ligações entre cada um dos nós do modo que lhe convier.

Cada nó corresponde a uma ou mais exibições de tela. Sendo que, tecnicamente, os nós são denominados de maneira diferente conforme o sistema empregado. Pode-se, então dizer que, embora não exista um modelo padrão de nó, ele descreve geralmente um único conceito ou tópico de modo a ser autocontido, não dependendo da leitura prévia de outros nós.

Logo a continuidade entre os nós é fornecida pelas ligações, sendo que alguns sistemas permitem nós de diferentes tipos como: referências, anotações e ilustrações e que geralmente são representados por diferentes cores, tipos de caracteres (fontes) ou ícones.

Uma ligação, conhecida como link, pode ser considerada o conceito básico mais importante em um hipertexto.

Tais ligações são marcas que conectam um nó com outro, e que quando é ativada, promove um salto é feito para o ponto associado pela ligação, que pode ser uma palavra, frase ou nó inteiro do mesmo documento ou de outro, sendo geralmente representadas por pontos na tela que indicam sua origem ou seu destino. Podendo ser representadas por palavras ou frases em destaque (negrito, itálico ou cores), gráficos ou até mesmo ícones.

Essas ligações podem produzir diferentes resultados como:

- transferir para um novo tópico;
- mostrar uma referência;
- fornecer informações adicionais, como nota de rodapé, definição ou anotação;
- exibir uma ilustração, esquema, foto, definição ou seqüência de vídeo;
- exibir um índice; executar outro programa de computador, como, por exemplo, programa de entrada de dados ou rotinas de animação.

A estrutura de um hipertexto determina e descreve o sistema de ligações ou relacionamentos entre os nós ou unidades de informação. Ela deve refletir a estrutura organizacional do assunto relacionado ou a uma rede semântica de um especialista.

A uma seqüência de nós ligados, capazes de representar a rota seguida pelo usuário durante o processo de navegação pela estrutura da rede, costuma-se denominar como *trilha*. Navegar em um hipertexto representa desenhar um percurso em uma rede que pode ser tão complicada quanto possível, já que cada nó pode, por sua vez, conter uma rede interativa.

Portanto pode-se dizer que navegar significa direcionar uma mudança de foco ou movimentação em relação ao conhecimento disponível.

E é justamente essa não linearidade dos hipertextos que é apontada como a vantagem desse sistema sobre os documentos impressos.

O hipertexto é um potencial paradigma unificador para a diversidade atual, onde cada tarefa ou material requer uma ferramenta independente. O modelo hipertexto oferece capacidade tanto para aumentar a qualidade da informação heterogênea, quanto para facilitar seu uso, por meio de ferramentas consistentes para apresentação e manipulação.

Esta possibilidade de inter-relação entre textos e usuários, debates e opiniões que forma o hipertexto introduz uma nova maneira de se relacionar com a autoria e com o próprio texto, uma vez que todos podem se tornar autores de uma única obra. O que faz surgir o conceito de ciberespaço que nada mais é do que um enorme hipertexto planetário.

O ciberespaço é assim um conjunto de hipertextos interligados entre si onde podemos adicionar, retirar e modificar partes desse imenso texto, que de certa forma parece ganhar vida.

A idéia de ciberespaço faz surgir um novo conjunto de idéias exploradas por Lévy em suas obras, dentre eles pode-se destacar a Cibercultura, a virtualização e a ecologia cognitiva, esta última já comentada anteriormente.

#### **4.1.3 Cibercultura**

Cibercultura é o título de outra obra de Pierre Lévy. Fruto de um relatório encomendado pelo Conselho Europeu, a obra aborda as implicações culturais do desenvolvimento das tecnologias digitais de informação e comunicação. Para o autor, a essência da cibercultura é algo paradoxal, já que a Internet é uma universalidade desprovida de um significado central, um verdadeiro sistema caótico global.

A primeira parte do livro consiste em uma série de definições de conceitos básicos, ferramentas e funções da Internet, tais como interatividade, ciberespaço, correio eletrônico (e-mail), conferência eletrônica, transferência de arquivos, virtualização de informação, comunidades virtuais, entre outros.

Na segunda parte, o autor aborda as novas formas artísticas da cibercultura (como a ciberarte), a nova relação com o saber, as mutações da educação, a economia do saber e a democracia eletrônica possíveis com o advento da Internet.

Sobre a nova relação com o saber, são interessantes os apontamentos que Lévy faz sobre os novos paradigmas da atualidade, comentando que as chamadas competências profissionais se tornam obsoletas ao longo do tempo. A nova natureza do trabalho valoriza os conhecimentos (aprender, transmitir, produzir), novas formas de acesso à informação e novos estilos de raciocínio e conhecimento. Para ele, tais paradigmas nos mostram a necessidade de duas reformas fundamentais nos sistemas de educação e formação: a utilização da EAD (Educação a Distância) e o reconhecimento das novas formas de aprendizagem através das experiências social e profissional e não mais somente através das formas tradicionais escolares e acadêmicas. Ele finaliza discutindo os questionamentos e críticas que sua teoria poderia gerar, como a crítica da substituição, que afirma que o virtual suplantará o real, a manutenção da diversidade das línguas e das culturas e os problemas de exclusão e desigualdade social frente às novas tecnologias.

Portanto pode-se dizer que Cibercultura nos dá um panorama amplo e profundo das consequências socioculturais da universalização da informação.

#### **4.2 TIKHOMIROV**

Tikhomirov propôs três teorias para questionar se o computador afeta a atividade intelectual humana.

A primeira teoria considerada é a da substituição. Nesta teoria, como o próprio nome já diz, o computador substituiria o ser humano no âmbito intelectual. Neste caso, Tikhomirov leva em consideração que o computador é capaz de chegar aos mesmos resultados que o ser humano na resolução de certos tipos de problemas, porém, ele rejeita esta teoria argumentando que os processos utilizados pelo ser humano, na busca da solução de um problema, não são os mesmos processos usados pelo computador na resolução de um mesmo problema. Por este motivo a teoria é rejeitada, pois ela não expressa a relação entre o trabalho do computador e o pensamento humano.

Assim, em 1981 Tikhomirov apresenta uma segunda teoria, denominada por teoria da suplementação. Nesta teoria o computador complementa o ser humano, onde o primeiro

resolve problemas que são de difícil solução para o segundo. Borba (1999) esclarece que nesta teoria algumas partes do processo são realizadas pelo ser humano, enquanto outras são realizadas pelo computador.

A união dessas partes equivale ao resultado final que, anteriormente, era realizado somente pelo ser humano. Nesta visão, há uma justaposição entre o computador e ser humano. O computador vem suplementar o pensamento humano no processamento de informação, com isso aumentando a velocidade e o volume deste processo, permitindo ao ser humano processar informações, cada vez mais rápido e, talvez, com mais precisão. Nota-se aqui, que há somente um aumento quantitativo da atividade humana não considerando os aspectos qualitativos do pensamento, tais como a busca de possíveis soluções de um determinado problema.

Dessa forma, Tikhomirov argumenta que as duas teorias anteriores - da substituição e a da suplementação – fracassam, pois não consideram o papel essencial da mediação numa atividade humana. Para o autor, não se trata apenas de considerar o computador substituindo processos mentais, ou então permitir um aumento puramente quantitativo nos processos psicológicos já existentes. O foco deve ser enxergar o computador como um novo tipo de mídia que pode mediar a atividade humana.

Tikhomirov sustenta então que o computador não apenas expande a capacidade da atividade existente. O computador, atuando como mediador, faz também emergir um novo estágio de pensamento. Em sua terceira teoria, a da reorganização, o computador é visto como uma nova mídia mediando as atividades humanas. Esse caráter mediador – originado pela teoria Vygotskiniana - produz uma reorganização dos processos de criação, armazenamento de informação e nas relações humanas. Neste caso é possível argumentar que o computador provoca uma reorganização da atividade humana, definida por Borba (1999) como “moldagem recíproca” entre computadores e seres humanos, onde o computador é visto como algo que “molda o ser humano e que ao mesmo tempo é moldado por ele” constituindo assim o sistema ser-humano-computador. Nesse sentido, não assumo as tecnologias apenas como meios, visto que a produção de conhecimento é permeada por elas.

No veio de Tikhomirov, Borba e Penteado (2001) propõem a metáfora seres-humanos-com-mídias. Colocando em voga que uma nova tecnologia não somente se justapõe aos seres humanos, mas interagem com eles, os autores propõem que o pensamento é exercido pelo sistema seres-humanos-com-mídias. Este sistema torna-se uma ampliação do sistema ser-humano-computador proposto por Tikhomirov, considerando o pensamento como algo coletivo do qual fazem parte as tecnologias da inteligência disponíveis ao longo da história. (BORBA, 1999)

Em seu artigo *The Theory of activity changed by information technology*, Tikhomirov consegue que o desenvolvimento da informática e da tecnologia da informação causa forte impacto a ponto de requerer avanços no estudo da teoria da atividade, à qual cabe a função de interpretar a natureza psicológica da atividade humana na sociedade da informação bem como nos desafios que se apresentam ao desenvolvimento da ciência psicológica.

As relações do homem com o seu meio seja no plano econômico, científico, artístico, político ou pedagógico são a base da inteligência coletiva proposta por Lévy.

Essa configuração do saber encontra novas fronteiras a transpor no que ele denomina de ciberespaço. Diante desta realidade, caracterizada por mudanças trazidas pela técnica, Lévy desenvolve o conceito de ecologia cognitiva, defendendo a idéia de que nós pensamos com e em grupos e instituições.

Para Lévy, as faculdades de conhecimento trabalham com línguas, sistemas de signos e processos intelectuais fornecidos por uma cultura. Assim, a inteligência ou cognição são frutos da coletividade e das tecnologias da inteligência.

As técnicas de comunicação ilustraram a divisão das culturas em cada tempo, classificadas como: oralidade primária (sociedade antes do uso da escrita) e secundária (com o advento da escrita). Uma das principais diferenças entre os indivíduos da cultura oral e da cultura escrita é que os primeiros caracterizam-se pela memória viva através de relatos, da narrativa (“o saber de cor”); enquanto o outro grupo objetiva a memória através dos escritos. Na oralidade primária, a memória social era transmitida pelas histórias dos mais velhos e pelos mitos. Com a impressão foi aberto um espaço para uma série de descobertas, instaurando um novo modelo cognitivo. Textos e números puderam ser comparados e compilados levando à chamada explosão do saber da época da Renascença.

As tecnologias aparecem novamente como agentes das transformações através da informática, presente em diversos setores da atividade humana e causando impactos na organização social. O computador permite a velocidade na comunicação, a simulação (através da demonstração visual) e a não linearidade do texto (possível pela rede de conexões do hipertexto). A transformação não se dá apenas na transmissão da mensagem, mas também na recepção e interpretação que cada um dará através da mobilidade das relações de sentido. Trazendo para a realidade das nossas relações interpessoais e nas relações homem/máquina podemos constatar a tese: as mensagens através do meio eletrônico estão cada vez mais imediatas; o hipertexto permite ir muito além do formato uniforme de uma página, agora os escritos informatizados variam e se adaptam de acordo com o leitor; e as imagens simuladas funcionam como uma espécie de extensão da imaginação.

A informática é muito mais que uma revolução nas formas e métodos de geração, armazenamento, processo e transmissão da informação. A possibilidade de explorar o texto de maneira interativa introduziu o conhecimento por simulação. O hipertexto também desterritorializa o texto, tornando-o sem fronteiras.

Lévy rebate a idéia de que existe uma oposição entre homem e máquina. Ele diz que as técnicas não determinam nada; são os grupos ou dos indivíduos que tomam posse dela.

Para ele, as novas tecnologias, como o computador a Internet e outras, vão influenciar a natureza do conhecimento neste final de século e irão dar à sociedade a possibilidade de chegar ao que ele denomina de “uma tecnodemocracia”, onde os meios técnicos possibilitariam uma democracia direta em grande escala.

Mas para isso devemos passar por uma espécie de reapropriação mental do fenômeno técnico. Uma espécie de reestruturação cultural para que possamos compreender e nos tornarmos capazes de fazer uso adequado das tecnologias da inteligência como é o caso do Hipertexto e até mesmo da própria Inteligência Artificial.

Isso nos faz considerar o papel da Teoria da Atividade frente à organização e uso das tecnologias da inteligência.

A Teoria da Atividade, num sentido amplo, pode ser definida como uma estrutura filosófica e interdisciplinar para estudar diferentes formas de práticas humanas de processos de desenvolvimento, tanto no nível individual como no nível social. Ela tem raízes históricas oriundas de três vertentes: a filosofia clássica Alemã dos séculos XVIII e XIX (de Kant a Hegel); os escritos de Marx e Engels, que elaboraram o conceito de atividade; e a psicologia Soviética, fundada por Vygostky, Leont'ev e Lúria. O termo "Teoria da Atividade" surgiu durante as décadas de 1920 e 1930, dentro da escola histórico-cultural Soviética de psicologia.(Nardi, 1996);

A Teoria da Atividade é formada por um conjunto de princípios que constituem um sistema conceitual geral. Os princípios básicos da Teoria da Atividade são segundo Nardi (1996).

- 1) Princípio da unidade entre consciência e atividade. É considerado o princípio fundamental da Teoria da Atividade, onde consciência e atividade são concebidas de forma integrada. A consciência significa a mente humana como um todo, e a atividade a interação humana com sua realidade objetiva. Este princípio declara que a mente humana emerge e existe como um componente especial da interação humana com o seu ambiente. A mente é um órgão especial que aparece no processo de evolução para ajudar organismos a

sobreviverem. Assim, ele pode ser analisado e entendido somente dentro do contexto da atividade humana.

- 2) Princípio da orientação a objetos: Este princípio enfoca a abordagem da Teoria da Atividade para o ambiente no qual, seres humanos interagem. Seres humanos vivem num ambiente que é significativo para eles. Este ambiente consiste de entidades que combinam todos os tipos de características objetivas, incluindo aquelas determinadas culturalmente, que por sua vez determinam as formas como as pessoas agem sobre essas entidades.
- 3) Princípio da estrutura hierárquica da atividade. A Teoria da Atividade diferencia os procedimentos humanos em vários níveis (atividade, ação e operação), levando em conta os objetivos para os quais estes procedimentos são orientados. A importância dessa distinção é determinada pela atitude ecológica (que leva em conta a influência sobre o comportamento humano, resultante da interação com o ambiente) da Teoria da Atividade. Numa situação real, esta distinção é freqüentemente necessária para prever o comportamento humano. Para esta finalidade ela é de importância crítica para a diferenciação entre motivos, metas e condições, que estão associados a atividade, ação e operação, respectivamente.
- 4) Princípio da internalização-externalização. Descreve os mecanismos básicos da origem dos processos mentais. Ele declara que processos mentais são derivados das ações externas através do curso da internalização. Onde internalização é o processo de absorção de informações (nas suas diversas formas) realizado pela mente humana, que ocorre a partir do contato com o ambiente em que a pessoa está inserida. A externalização é o processo inverso da internalização, manifestado através de atos, de tal forma que eles possam ser verificados e corrigidos se necessário.
- 5) Princípio da mediação. A atividade humana é mediada por um número de ferramentas, tanto externas (por exemplo: um machado ou um computador) como internas (por exemplo: uma heurística ou um conceito). As ferramentas são “veículos” da experiência social e do conhecimento cultural.
- 6) Princípio do desenvolvimento. De acordo com a Teoria da Atividade, entender um fenômeno significa conhecer como ele se desenvolveu até sua forma atual, pois ao longo do tempo ele sofre alterações. Compreender estas alterações auxiliará no entendimento do seu estado atual.

Esses princípios não são idéias isoladas, eles estão intimamente ligados. A natureza da Teoria da Atividade é manifestada nesse conjunto de princípios. Segundo a Teoria da Atividade uma atividade é uma forma de agir, forma direcionada de um sujeito para um objeto.

No nível individual, uma atividade possui três elementos: *sujeito*, *objeto* e *ferramenta de mediação*. O *sujeito* é o agente que atua sobre o *objeto* da atividade. O *objeto* é o elemento para o qual as ações da atividade estarão direcionadas, um *objeto* pode ser algo material, ou algo menos tangível, como um plano ou uma idéia qualquer. O relacionamento recíproco entre o *sujeito* e o *objeto* da atividade é sempre mediado por uma ou mais *ferramentas* (*também chamadas de artefatos de mediação*), que podem ser *instrumentos*, sinais, procedimentos, máquinas, métodos, leis, formas de organização de trabalho etc. Ferramentas sempre possuem um papel de mediação, usadas no processo de transformação do *objeto*. (Nardi, 1996);

A figura abaixo representa a estrutura de relacionamento, no nível individual, entre o *sujeito* e o *objeto* no contexto de uma atividade, onde a *ferramenta* assume um papel importante na mediação entre eles. Através desta mediação algum resultado deve ser obtido. Transformar um *objeto* para um resultado motiva a existência de uma atividade.

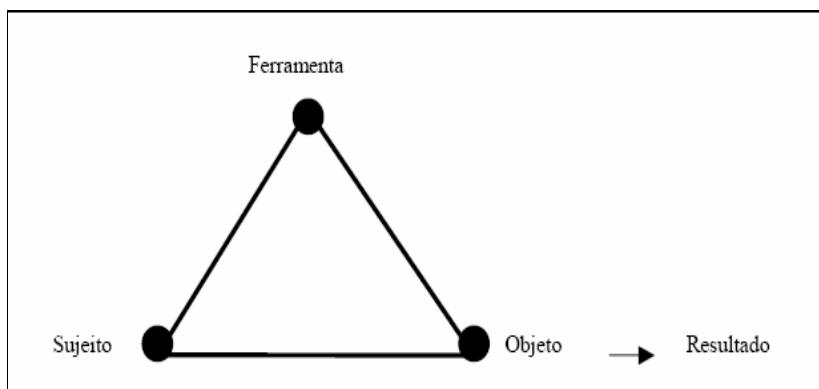


Figura 18: Relacionamento mediado entre sujeito e objeto no nível individual.

Embora a representação do relacionamento mediado entre sujeito e objeto no nível individual seja útil, essa estrutura é simples demais para representar as considerações de relações sistêmicas existentes entre o sujeito e o seu ambiente, uma vez que essas relações são encontradas em muitas atividades. Assim, um novo elemento deve ser adicionado: a comunidade. Uma comunidade é formada por todos os sujeitos que compartilham um mesmo objeto. Quando se introduz o conceito de comunidade novas formas de mediação aparecem

(além daquela possibilitada pelas ferramentas), estas novas formas de mediação são denominadas regras e divisão de trabalho (figura abaixo). As regras, enquanto uma forma de mediação entre o sujeito e a comunidade, são normas implícitas ou explícitas estabelecidas por convenções e relações sociais dentro da comunidade A divisão de trabalho, enquanto forma de mediação entre a comunidade e o objeto, se refere a forma de organização de uma comunidade, relacionada ao processo de transformação de um objeto para um resultado.Todas as formas de mediação (ferramentas, regras e divisão de trabalho) possuem um desenvolvimento histórico próprio, com características particulares relacionadas ao contexto em que foram desenvolvidas.A teoria assim estruturada recebeu enorme contribuição e divulgação por Ņgestron. No entanto quando nos referimos à Teoria da Atividade estamos conjugando com a ótica de Leontiev para o desenvolvimento das idéias de Tikhomirov.

É possível olhar, sob a ótica da Teoria da Atividade, um modelo de interação das Tecnologias da Inteligência e o Homem<sup>3</sup>.

Na essência de seu artigo “The Psychological Consequences Of Computerization” (1999) Tikhomirov, estabelece elos de relacionamento entre a teoria da atividade e a inteligência artificial.

Para tal, Tikhomirov toma como base a interação ocorrida nas últimas décadas entre a psicologia e a teoria da inteligência artificial. Onde o propósito dos psicólogos e cientistas é o de fazer uso desta última para lhes permitir aprimorar os estudos da cognição, da criatividade e do comportamento.

A IA, como procura de mecanismos capazes de auxiliar nas explicações e explorações de tais elementos, tende a sofrer profundas modificações estruturais. Procura inventar novos mecanismos e faculdades, podendo as inovações ser apropriadas por via da educação.

O uso da IA passa, aliás, por uma espécie de simbiose.

Acredito não haja uma maneira de pensar do Homem que seja fixa para todo o sempre. A forma de pensar evolui com o tempo, encontrando-se novos modelos de raciocínio (por exemplo, o raciocínio presente na "dedução por absurdo").

Em última análise, a IA é o resultado de uma simbiose entre a forma de pensar do Homem e a da Máquina.

---

<sup>3</sup> Como anteriormente citado na Teoria do Caos, a idéia é que essa teoria possa agir como reorganizadora da atividade humana na interação com o artefato computador.

Um resultado da relação que se estabelece entre o sujeito e o objeto permeado pela ferramenta que hora se faz representar pelo computador, mas que pode ter seu lugar ocupado por qualquer tecnologia da inteligência.

Esta simbiose aparece como um reflexo, um espelho epistemológico do Homem, enquanto programador da máquina. Esta pensa de acordo com aquilo que aquele sabe explicitar com rigor ser possível pensar. Mas o novo e maravilhoso instrumento ativo que é o computador (tecnologia da inteligência) provoca a imaginação, com a ajuda da invenção, a explorar possibilidades anteriormente inexistentes. O resultado final é uma complementaridade simbiótica.

O computador permite-nos explorar melhor certas dimensões do pensamento, tanto pela sua capacidade de retenção de informação como pela sua velocidade, surgindo-nos como um instrumento que é uma espécie de "*telescópio da complexidade*". De fato, se com o telescópio "*vemos mais longe*", com o computador "*vamos mais longe*" no que diz respeito à capacidade de lidar com o complexo. Ele é na verdade o primeiro instrumento com quantidades significativas de memória passiva manipulável de forma rápida, racional e automática por memória ativa (as instruções) com uma possibilidade de complexificação ilimitada.

Mas o raciocínio não esgota a noção de inteligência, nem esta a noção de conhecimento.

De certa forma as Tecnologias da Inteligência podem passar a ser vistas a partir dessa perspectiva como formas através das quais a IA é capaz de interagir com o seu "interior" e ou seu "exterior". Passam a se comportar como elementos reguladores da própria IA.

A Teoria da Atividade passa a exercer a partir daí um importante papel no estudo de como estas Tecnologias da Inteligência podem ser usadas para regular a IA, procurando permitir a compreensão e o entendimento acerca do funcionamento dessas próprias tecnologias e de que forma elas afetam e reorganizam a inteligência.

A tentativa de estudo desse quadro a partir da Teoria da atividade pode inclusive nos fornecer argumentos para "desenhar" uma reconcepção de IA dentro de uma idéia de conceito.

Em resumo parece ser de grande valia a tentativa de organizar um estudo com base na Teoria da Atividade capaz de gerar compreensão a cerca da relação simbiótica citada que nos permita compreender como as Tecnologias da Inteligência podem agir de forma eficaz no seu papel de elementos reguladores a fim de possibilitar a criação de uma IA aprimorada, capaz de contemplar as necessidades de aplicação em estruturas que a tomem como base de desenvolvimento como a de um STI.

## 5. CONCLUSÃO

Como visto desde o começo o principal fator de motivação para a realização desta pesquisa é oriundo da busca por aprimoramentos ao exercício de minha profissão como educador matemático.

Para ser mais exato pela necessidade incessante de estar buscando novas formas e caminhos motivadores para tratar problemas matemáticos.

Desde o princípio minhas idéias estavam centradas em buscar inovações, alternativas e procedimentos que fossem capazes de servir ao propósito de modificar a estrutura de ensino aprendizagem com que convivemos na maior parte das vezes.

Uma estrutura em que um professor de matemática ou de física ensina a resolver exercícios e conteúdos que na maior parte das vezes parecem totalmente vazios e infundados, ao invés de procurar ensinar seus alunos a compreender e analisar cada um dos problemas a partir da formulação dos conceitos propostos em cada uma das ciências.

Alternativas capazes de romper com as estratégias de ensino baseadas em técnicas desenvolvidas a partir de verdadeiros receituários em que o professor segue à risca os itens como :

- “Passar” os conceitos.
- Exemplificar.
- Resolver e propor exercícios.
- Fazer prova para avaliar.

Centrado nessa busca e com as influências e fatores motivacionais resultado de minha própria formação e de atuação profissional junto ao ambiente fortemente associado aos avanços tecnológicos, principalmente representados pela informática de um modo geral, acabei

enveredando por essa área na tentativa de fazer esses recursos tecnológicos servirem como o principal fator motivador para discutir os tais problemas matemáticos.

Foi a partir daí que, como já comentado no primeiro capítulo, acabei passando por uma série de experiências que acabaram me encaminhando para os Sistemas Tutoriais Inteligentes, e mais especificamente dentro de seu contexto evolutivo para os caminhos da Inteligência Artificial, e que a princípio se demonstrava como uma ferramenta extremamente útil e promissora para desenvolver as modificações necessárias na estrutura dos STIs.

Tamanha foi minha surpresa ao longo da pesquisa com todas as descobertas que acabei fazendo a respeito da IA, fazendo com que de uma simples ferramenta ela passasse a assumir um papel conceitual de ampla importância.

Como vimos, a própria dinâmica do pensamento matemático acaba remetendo-nos a uma espécie de reestruturação na concepção de IA e, consequentemente, naquela de STI.

Quando tratamos de problemas matemáticos, onde estamos envolvidos com provas e refutações, tentativas, erros e crenças, freqüentes no pensar matemático, com o objetivo de alcançar uma heurística, a lógica subjacente nesse processo para ser reproduzida de forma “artificial” não pode estar baseada na lógica do {0,1}.

Enfim como pudemos observar, se houvesse a possibilidade de construir uma IA com o uso dos recursos de hardware e de programação atuais, seria equivalente a se conseguir reduzir todos os processos complexos dessa IA à lógica binária, inclusive as contradições e conflitos capazes de contemplar a possibilidade de um talvez.

Ao percebermos a IA com um conceito vislumbramos inclusive possibilidades de um estudo segundo a teoria dos Campos Conceituais de G. Vergnaud, mesmo que este não seja nosso objetivo neste momento.

A espécie humana alcançou hoje uma fase evolutiva inédita, na qual os aspectos cognitivo e relacional e de convivência humana se modificam com rapidez nunca antes experimentada. Isso se deve em parte à função mediadora, quase onipresente, dessas novas tecnologias.

No tocante à aprendizagem e ao conhecimento, chegamos a uma transformação sem precedentes das ecologias cognitivas, tanto das internas da escola, como das que lhe são externas, mas que interferem profundamente nela.

As novas tecnologias não substituirão o professor, nem diminuirão o esforço disciplinado do estudo. Elas, porém, ajudam a intensificar o pensamento complexo, interativo e transversal, criando novas chances para a sensibilidade solidária no interior das próprias formas do conhecimento.

A resistência de muitos educadores em usar as novas tecnologias na pesquisa pessoal e na sala de aula tem muito a ver com a insegurança derivada do falso receio de estar sendo superado, no plano cognitivo, pelos recursos instrumentais da informática.

Neste sentido, o mero treinamento para o manejo de aparelhos e equipamentos, por mais importante que seja não resolve o problema. Por isso, é sumamente importante mostrar que a função do educador competente não só não está ameaçada, mas aumenta em importância.

Seu novo papel já não será o da transmissão de saberes supostamente prontos, mas o de mentores e instigadores ativos de uma nova dinâmica de pesquisa-aprendizagem.

Essas novas tecnologias já não são meros instrumentos no sentido técnico tradicional, mas feixes de propriedades ativas. Representam algo tecnologicamente novo e diferente.

Se as tecnologias tradicionais serviam como instrumentos para aumentar o alcance dos sentidos, as novas tecnologias ampliam o potencial cognitivo do ser humano possibilitando associações cognitivas bem mais complexas e cooperativas.

Uma quantidade imensa de insumos informativos está à disposição a maioria dispostas na forma de grandes redes onde um grande número de agentes cognitivos humanos pode interligar-se em um mesmo processo de construção de conhecimentos. E os próprios sistemas interagentes artificiais se transformaram em máquinas cooperativas, com as quais podemos estabelecer parcerias na pesquisa e no avolvimento de experiências de aprendizagem.

Não se trata aqui de tentar reduzir o Lógos à Techné. Mas, doravante, já não haverá mais formação do Lógos sem a cooperação da Techné.

As duas coisas se tornaram inseparáveis em muitas, mas não em todas as instâncias do que chamamos aprender e conhecer.

Estamos desafiados a assumir um novo enfoque do fenômeno técnico. Na medida em que este se tornou co-responsável direto por nossos modos de organizar e configurar linguagens, penetrou também nas formas do nosso conhecimento. O que significa que as tecnologias se transformaram em elementos constituintes e também participantes das nossas formas de ver e organizar o mundo.

O que há de novo inédito e promissor com as tecnologias é justamente a parceria cognitiva que elas estão começando a exercer na relação que o “aprendente” estabelece com elas.

Termos como “usuário” já não expressam bem essa relação cooperativa entre ser humano e máquinas inteligentes. O papel delas já não se limita à simples configuração e formatação, ou, se quiserem ao enquadramento de conjuntos complexos de informação.

Elas participam ativamente do passo da informação para o conhecimento. Está acontecendo um ingresso ativo do fenômeno técnico na construção cognitiva da realidade.

Nossas formas de saber passarão a ter um ingrediente, dentre muitos outros, derivado da nossa parceria cognitiva com as máquinas que possibilitam modos de conhecer, anteriormente inexistentes.

Aprendentes humanos podem, agora, situar-se no interior de Ecologias Cognitivas nas quais a construção do conhecimento passa a acontecer sob a forma daquilo que Pierre Lévy denomina Inteligência Coletiva.

Essa construção já não é, portanto mais produto unilateral de seres humanos isolados, mas de uma vasta cooperação cognitiva distribuída, da qual participam aprendentes humanos e sistemas cognitivos artificiais. Isso implica em modificações profundas na forma criativa das atividades intelectuais.

Tecnologias da Inteligência como o Hipertexto passam de uma simples técnica a uma espécie de metáfora epistemológica para a interatividade. As redes passam a disseminar as possibilidades de pensamentos ligados a níveis de transversalidade e a permitir projetos transdisciplinares de pesquisa e aprendizagem.

Em um processo de ensino-aprendizagem de matemática diversas dessas tecnologias da inteligência são utilizadas, desenvolvidas ou mesmo criadas. Isso nos dá uma pista de que essas Tecnologias da Inteligência poderiam atuar como elementos reguladores de uma IA. Seu funcionamento, nessa ótica pode ser considerado mediante a Teoria da Atividade.

Toda essa discussão pauta-se nas características cognitivas oriundas do pensar matemático e na tentativa de reproduzi-lo artificialmente. A IA mostra-se promissora para tal bem como para a idealização de STIs que se adequem às mais diversas necessidades de estruturação dos processos de ensino e aprendizagem.

Isso permite se não na totalidade pelo menos de forma parcial que boa parte dos problemas apontados nos STIs ao longo dessa pesquisa, como o da adequação ao estilo do aluno, por exemplo, tenham uma proposta de encaminhamento que vise apontar soluções tomando como base o desenvolvimento e a compreensão das relações das Tecnologias da Inteligência enquanto elementos reguladores do conceito de IA através da Teoria da Atividade.

Em minha opinião as figuras selecionadas de Escher, são capazes de ilustrar e nos fazer refletir a respeito da Inteligência Artificial e das Tecnologias da Inteligência.  
(<http://www.worldofescher.com/gallery>; acessado 22/08/04)



Figura 19: : Bond of Union

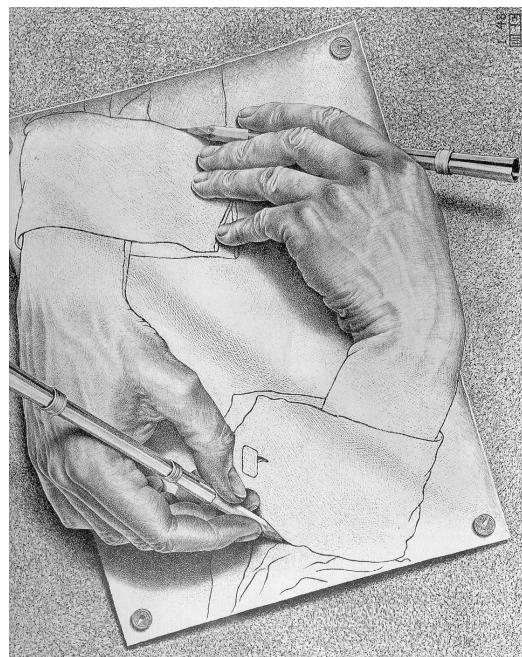


Figura 20: : Drawing Hands

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGAZZI, EVANDRO. **La logica simbolica**. Barcelona: Herder, 1986.
- ASANOME, C. **Sistemas Tutoriais Inteligentes: um estudo**. Rio de janeiro: COPPE/UFRJ. Monografia. Final do Curso de especialização em Engenharia de Software. Dez., 1991.
- BEGG, IAIN M. e HOGG, IAN. **Authoring Systems for ICAL**. Em KEARSLEY, G. P. (Editor), **Artificial Intelligence & Instruction**. Addison Wesley, 1987.
- BELL, E. T. **Men of Mathematics**. New York: Simon & Schuster, Inc, 1937.
- BOCHENSKI, J. M. **Historia de la logica formal**. Madrid: Biblioteca Hispânica de Filosofia, 1966.
- BORBA, M.C. **Tecnologias Informáticas na Educação Matemática e reorganização do pensamento**. In: Bicudo, M.A.V. (Org.), *Pesquisa em Educação Matemática: Concepções & Perspectivas*. São Paulo: Ed. Unesp, 1999.
- BORBA, M.C.; PENTEADO, M.G. **Informática e Educação Matemática**. Belo Horizonte: Autêntica, 2001. 104p.
- BOYER, CARL B. **História da Matemática**. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.
- BREUKER,J. Coaching in Help Systems. In: SELF,J.(Ed.) **Artificial Intelligence and Human Learning**: Intelligent Computer Aided Instruction. London: Chapman Hall, 1988.
- BUIU, CATALIN. **Artificial intelligence in Education – state of the art and perspectives**(ZIFF Papiere 111). Germany: Fern University: Institute for Research into Distance Education. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 434903). 1999.
- CAMPOS, G.H.B. **Avaliação da Qualidade de Software Educacional**. Rio de Janeiro:COPPE/UFRJ,1996. (RT-COS811).
- CASTELLS, MANUEL **Conference on Information Technologies and Social Development** . Geneva ; 1998 ; Paper ; UNRISD ; Palais des Nations

- CHARNIAK E. and McDERMOTT D. **Introduction to Artificial Intelligence**. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA, 1985.
- CLANCEY, W.J. **Knowledge-Based Tutoring: The GUIDON Program**, The MIT Press, 1987.
- COSTA, R.M.E.M.;WERNECK, V.M.B. **Tutores Inteligentes**. Rio de Janeiro: COPPE /UFRJ, 1996.( ES - 392/96).
- DAMICO,C. **Modelo de usuário para Sistemas Tutores Inteligentes**. Porto Alegre: CPGCC/UFRGS, 1995.( Exame de Qualificação em Profundidade).
- DOUGLAS, S. **Detecting and Repairing Tutoring Failures**. Third CeRCLeWorkshop on Teaching Knowledge and Intelligent Tutoring.3.,1988. **Proceedings...** Ullswater,[S..e.], 1988.
- ENCYCLOPEDYA BRITANNICA THE NEW, Macropaedia. USA: Helen Hemingway Benton, 1979.
- ENGESTRÖM, Y., "Learning by Expanding", Helsinki: Orienta-Konsultit, 1987.
- EVERSON, H.T., **Modeling the student in intelligent tutoring systems: the promise of anew psychometrics**. Instructional Science, 23(Nov.), 433-452. 1995.
- FEENBERG, ANDREW (1991) **Critical Theory of Technology**. New York: Oxford University Press.
- FEIGENBAUM , E. A. e BARR, A. **Applications-Oriented, AI Research: Education.Em The Handbook of Artificial Intelligence - Capítulo IX**. Los Altos, CA. William Kaufmann, 1982.
- FOWLER, D.G., "A Model for Designing Intelligent Tutoring Systems", Journal of Medical Systems, Vol. 15, N.1, 1991.
- FREEMAN, Reva. **What is an Intelligent Tutoring System?**. Published in Intelligenge,11(3): 15-16, 2000.
- GAMBOA, Hugo., Ana Fred. **Designing Intelligent Tutoring Systems: a Bayesian Approach**. 3rd International Conference on Enterprise Information Systems, ICEIS'2001.
- GREENO, J. G., Collins, A., Beranek, B., & Resnick, L. B. **Cognition and Learning**. InD. Berliner & R. Calfee (Eds.), Handbook of educational psychology (pp. 1-51). 1994.
- HERMES, HANS. **Enumerability, decidability, computability-an introduction to the theory of recursive functions**. New York: Springer-Verlag, 1969.
- KAPLAN, RANDY e ROCK, DENNY. **New Directions for Intelligent Tutoring Systems**. AI Expert - February, 1995.
- KEARSLEY, G. "Artificial Intelligence & Instruction - Applications and Methods". Editado por Greg Kearsley. Addison-Wesley Publishing Company, 1987.

KNEALE, WILLIAN & KNEALE, MARTHA. **O desenvolvimento da lógica.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1968.

LA TAILLE, Y.J.J.M.R.de.**Ensaio sobre o Lugar do Computador na Educação:** Relato do Projeto Ciranda?São Paulo e o tema Análise de Resposta. Tese de Doutorado. São Paulo, Instituto de Psicologia da USP, 1988.

LÉVY, P. **Educação e Cybercultura** – A nova relação com o saber. [Online] [wysiwyg://corpo.4//http://portoweb.com.br/PierreLevy/educaecyber.html](http://wysiwyg://corpo.4//http://portoweb.com.br/PierreLevy/educaecyber.html). Em 12/03/1999.

LÉVY, P. **As Tecnologias da Inteligência –O futuro do pensamento na era da informática.** Editora 34 (edição brasileira), 1993.

McCARTHY J. and HAYES P.J. **Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence.** In D. Michie and B. Meltzer, editors, *Machine Intelligence 4*, pages 463-502. Edinburgh University Press, Edinburgh, GB, 1969.

McCORDUCK P. **Machines Who Think.** Freeman, San Francisco, 1979.

McCALLA, G. I. **The Central Importance of Student Modelling to Intelligent Tutoring.** In E. Costa (Ed.), New Directions for Intelligent Tutoring Systems. Vol. 91, pp. 107-131.Berlin: Springer-Verlag.1992.

McTAGGART, John. **Intelligent Tutoring System and Education for the Future.** CI512X Literature Review, 2001.

MITCHELL, P.D.,& Grogono, P.D. **Modelling Techniques for Tutoring Systems.** Computers and Education, 20(1),55-61, 1993.

Nardi, B. A., **Context and Consciousness - Activity Theory and Human-Computer Interaction,** MIT Press, 1996.

NILSSON, N.; GENESERETH, M. **Logical Foundations of Artificial Intelligence.**[S.l.]Morgan Kaufmann, 1987.

OLIVEIRA, M. K. de. VYGOTSKY: **Aprendizado e desenvolvimento um processo sócio-histórico.** 4<sup>a</sup> ed. São Paulo : Scipione, 1997.

OREY, Michael A., Nelson, Wayne A. **Development principles for intelligent tutoring systems: integrating cognitive theory into the development of computer-based instruction.** Educational technology Research and Development, 41(1), 59-72. 1993.

PÉREZ, RAFAEL GOMES. **História básica da filosofia.** São Paulo: Nerman, 1988.

PIAGET, J. **Para Onde Vai a Educação?** Tradução de Ivette Braga. 8<sup>a</sup> Edição. Editora José Olympio. Rio de Janeiro, 1984.

REALLE, G. & ANTISSEI, DARIO. **História da Filosofia.** São Paulo: Edições Paulinas, 1991.

RICH, ELAINE. **Inteligência Artificial.** São Paulo, McGraw-Hill, 1988.

- RICKEL, JEFF W. **Intelligent Computer-Aided Instruction: A Survey Organized Around System Components.** IEEE Transactions on Systems and Cybernetics, Vol. 19, No. 1, 1989.
- RUSSEL, S.J & NORVING, P. **Artificial Intelligence: a modern approach.** Prentice-Hall, Inc. 1995.
- SACK, W., Soloway, E., & Weingrad, P. **Re-Writing Cartesian Student Models.** In J. E. Greer & G. I. McCalla (Eds.), *Student Modelling: The Key to Individualized Knowledge-Based Instruction* (NATO ASI Series ed., Vol. 125, pp. 355-376). Berlin: Springer-Verlag. 1994.
- SANGUINETI, JUAN JOSE. **Lógica.** Pamplona: EUNSA, 1982.
- SCHOLZ, H.. **Abriss der Geschichte**, apud AGAZZI, pag. 61
- TIKHOMIROV, O.K. **The Psychological consequences of computerization.** In: WERTSCH, J.V. (Ed.) *The concept of activity in soviet psychology.* New York: M.E.Sharpe. Inc, 1981, p. 256-278.
- URRETA VIZCAYA L. Maite. **Sistemas Inteligentes em el âmbito de la educación.** Revista Iberoamericana de Inteligência Artificial. Nro. 12. pp.5-12. 2001.
- VICCARI, R. M. **Um Tutor Inteligente para a programação em Lógica -Idealização,Projeto e Desenvolvimento,** Universidade de Coimbra, 1990. (Tese de Doutorado).
- \_\_\_\_\_. **Inteligência Artificial e Educação - Indagações Básicas.** Revista Informática Educativa, Vol. 6, nº 3. - Tema: Inteligencia artificial en educación. Universidade de Los Andes, Santafé de Bogotá - Colômbia, Dez./1993.
- VICCARI, R. M.; MOUSSALLE, N. **Tutores Inteligentes para o Ensino da Linguagem Prolog.** Anais do 1º Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Rio de Janeiro - novembro/1990.
- VYGOTSKY, L. S.. **A Formação Social da Mente.** 4ed. São Paulo : Martins Fontes, 1991<sup>a</sup>
- \_\_\_\_\_. **Pensamento e Linguagem.** 3ed. São Paulo : Martins Fontes, 1991b
- VYGOTSKY, L. S., LURIA, A .R. e LEONTIEV, A .N.. **Linguagem, Desenvolvimento e Aprendizagem.** São Paulo : Ícone : Editora da USP, 1988.
- WENGER, ETIENNE. **Artificial Intelligence and Tutoring Systems.Computacional and Cognitive Approaches to the Communication of Knowledge.** Morgan Kaufmann Publishers, Inc. Los Altos California, 1987.
- WINSTON P.H. **Artificial Intelligence** (2nd Edition). Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA, 1984.

WOOLF, B. **Intelligent Tutoring Systems: A Survey** - Capítulo 1 de "**Exploring Artificial Intelligence: Survey Talks from Natural Conferences on Artificial Intelligence**". Howard, S. and American Association for Artificial Intelligence (Ed.) USA - Morgan Kaufmann Publishers Inc. - 1988.

## ANEXO I

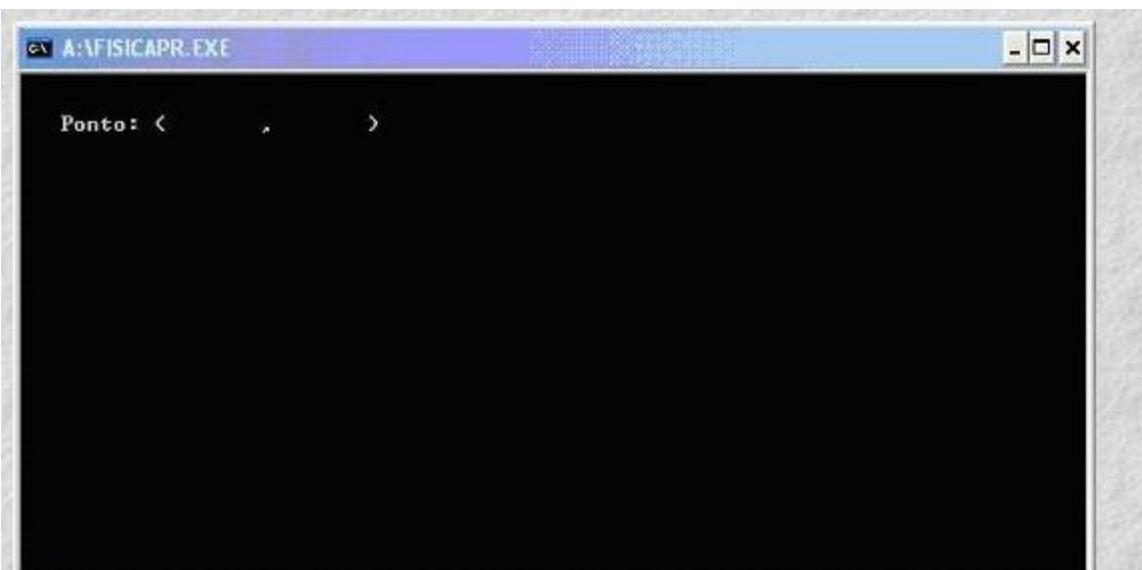


Figura 21.



Figura 22.

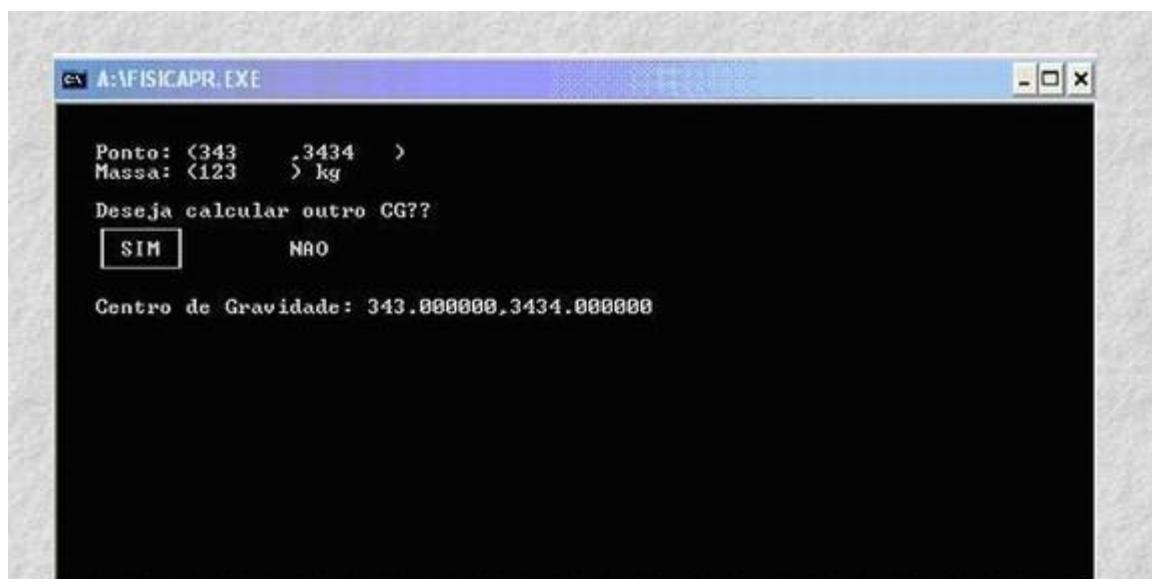


Figura 23.

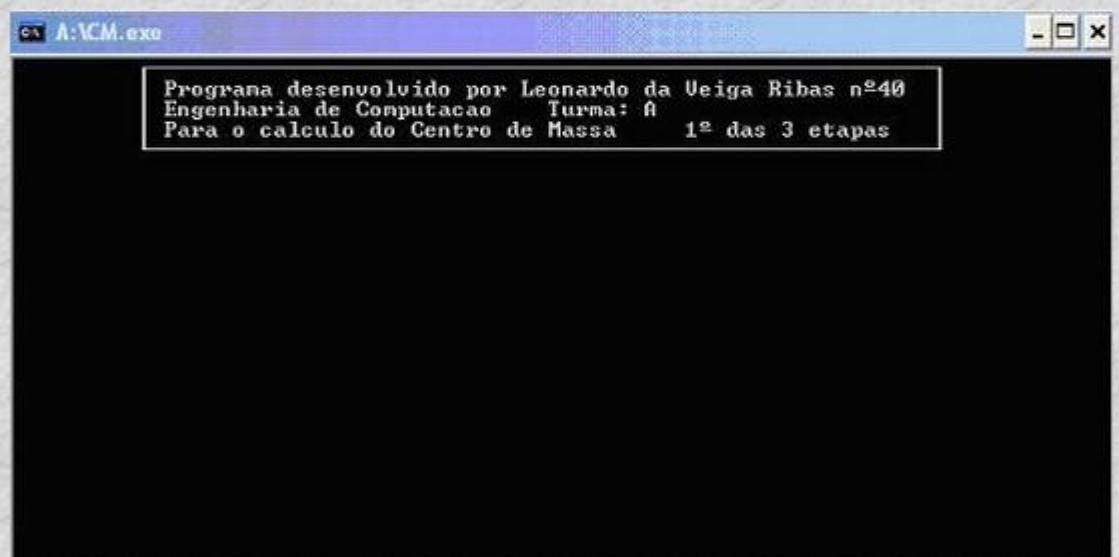


Figura 24.

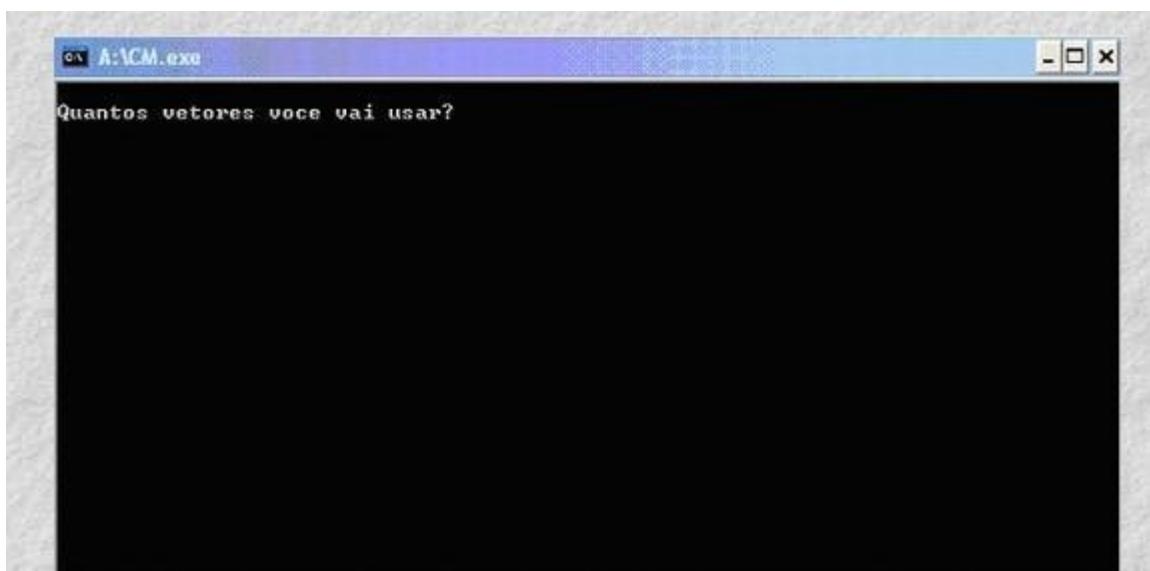


Figura 25.

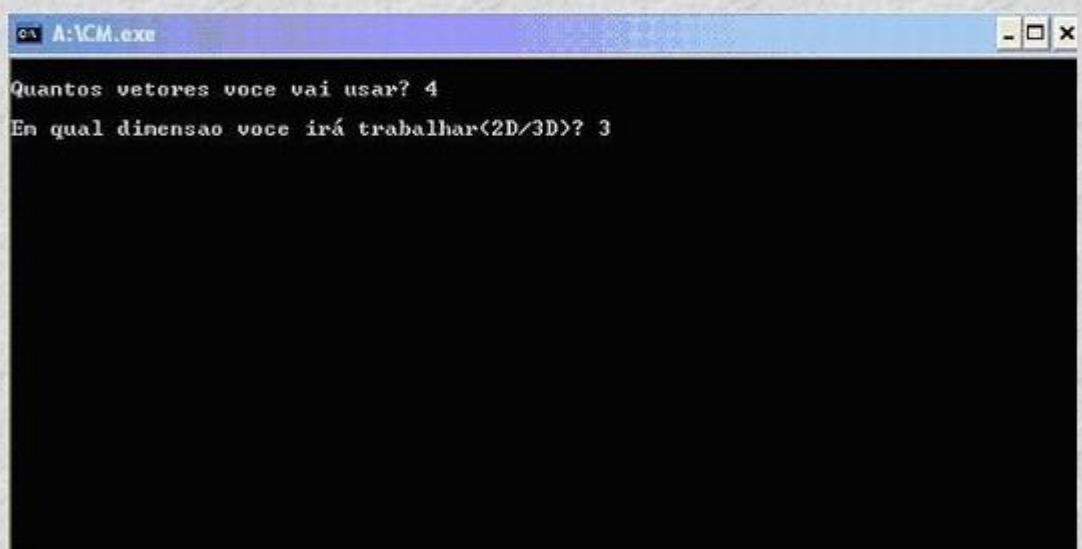


Figura 26.



Figura 27.



Figura 28.

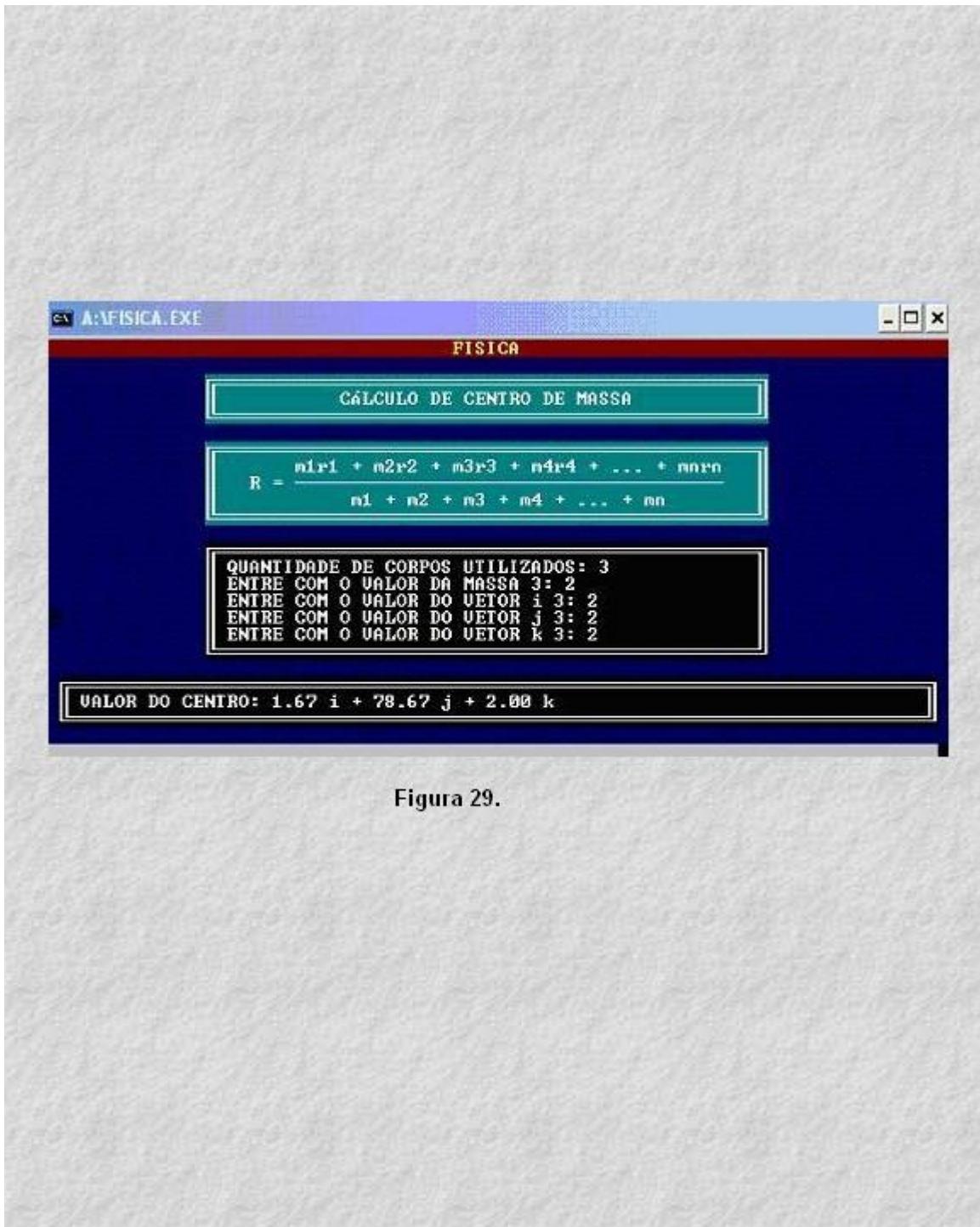


Figura 29.

## ANEXO II

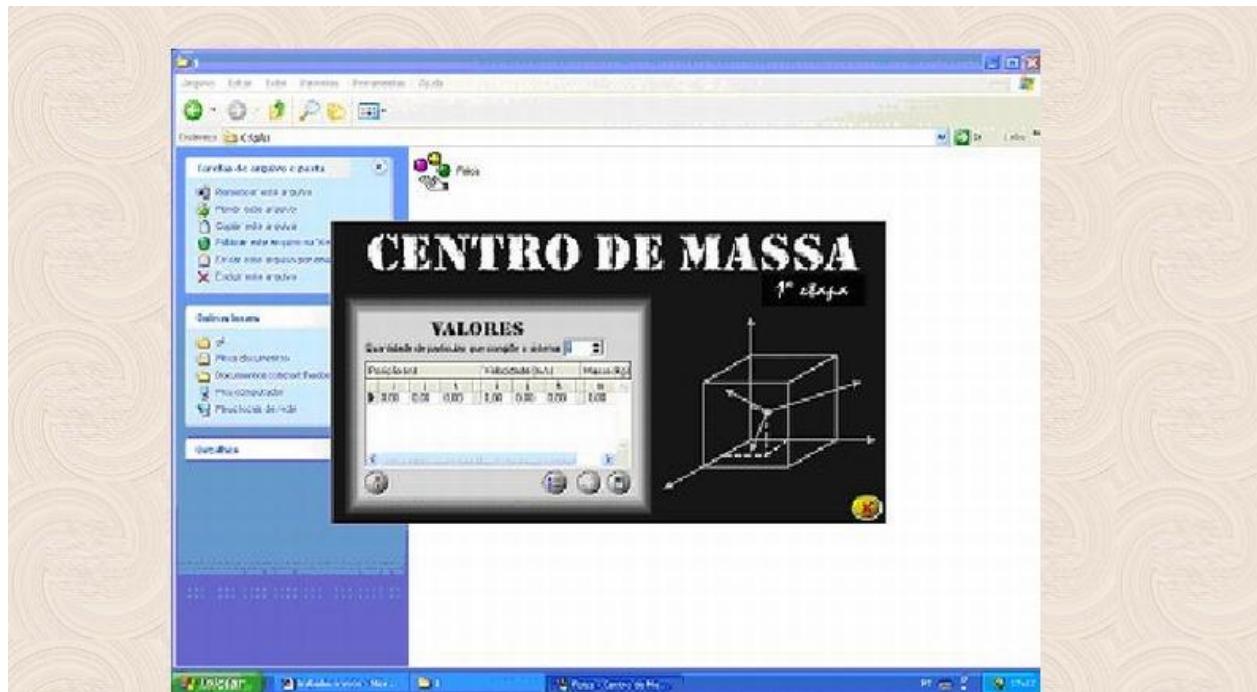


Figura 30 : A determinação do centro de massa.

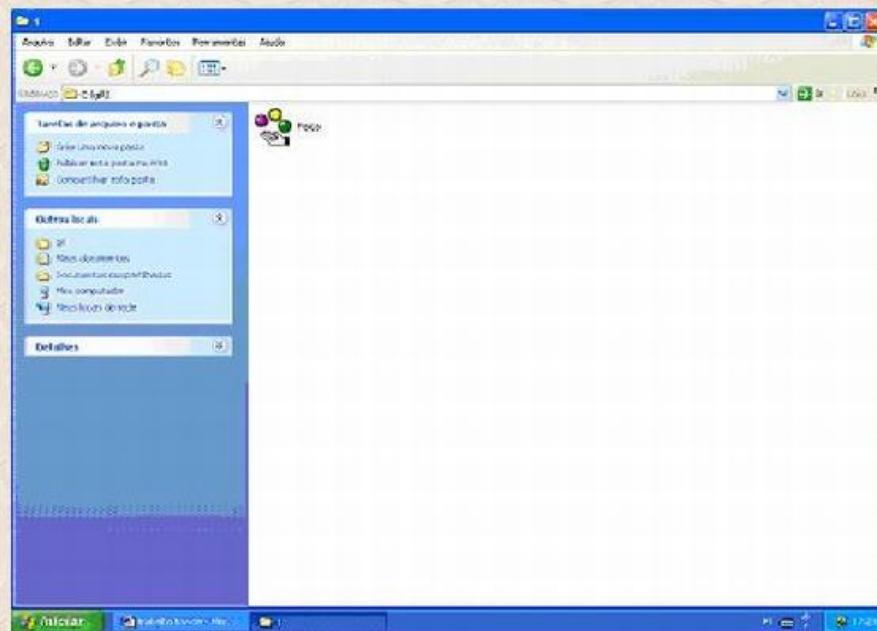


Figura 31: O ícone de execução.



Figura 32 : A tela inicial.



Figura 33: As funções de cada botão.

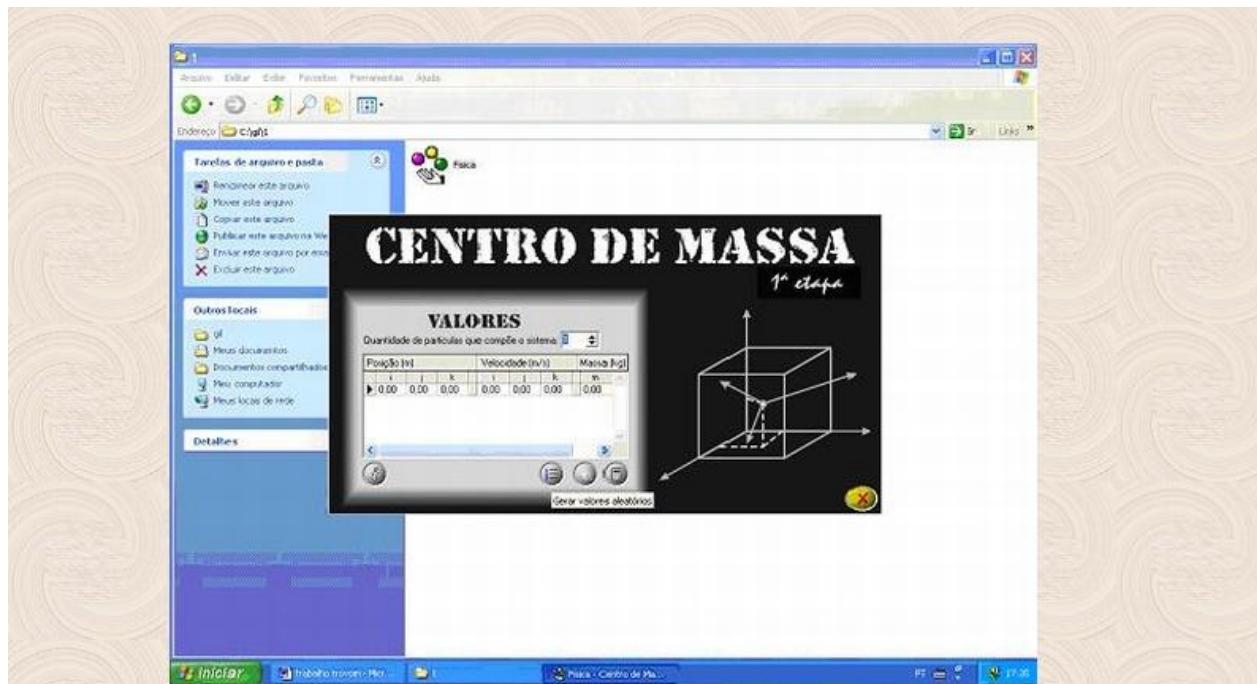


Figura 34 : Gerando valores aleatórios.



Figura 35: A entrada manual de valores.

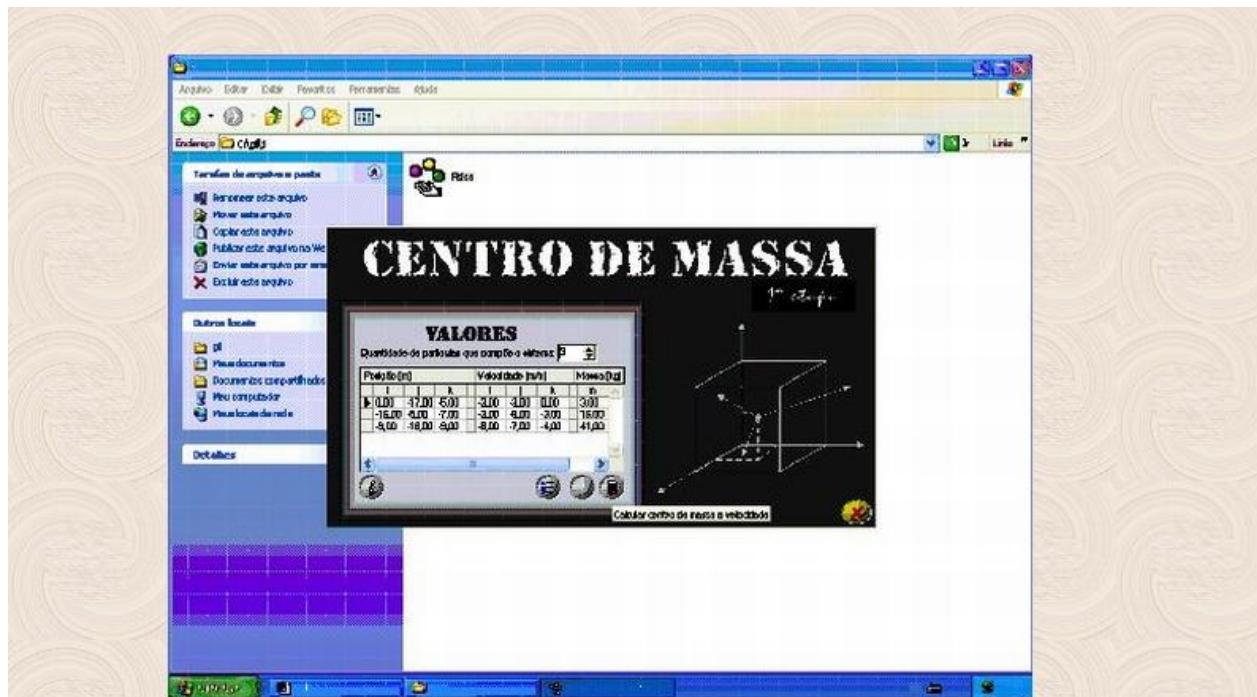


Figura 36 : Efetuando os cálculos.



Figura 37: Os resultados.



Figura 38 : Retornando à entrada de valores.



Figura 39: As informações sobre o autor.



Figura 40 : As informações sobre o autor.



Figura 41: O alerta sobre a entrada correta dos dados.

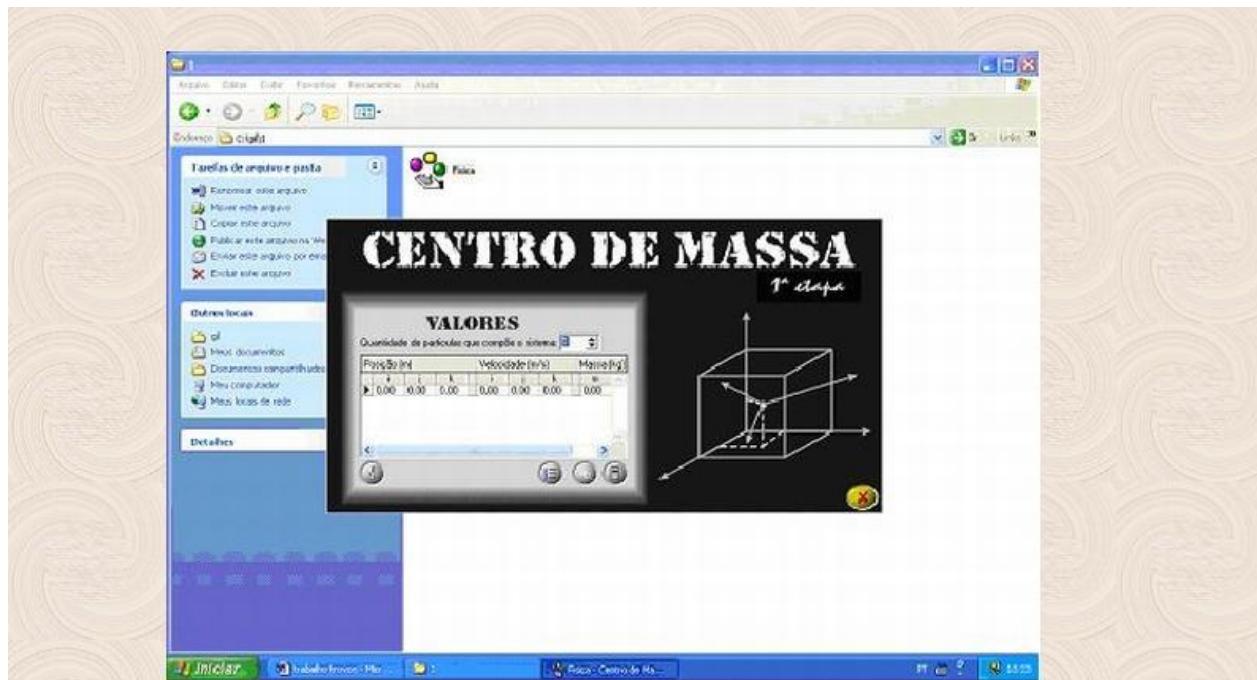


Figura 42 : Encerrando a execução.



Figura 43: A saudação final.



Figura 44 : A apresentação do gráfico.



Figura 45: Configurando o programa.



Figura 46 : As opções para a representação gráfica.



Figura 47: Os resultados e o gráfico.

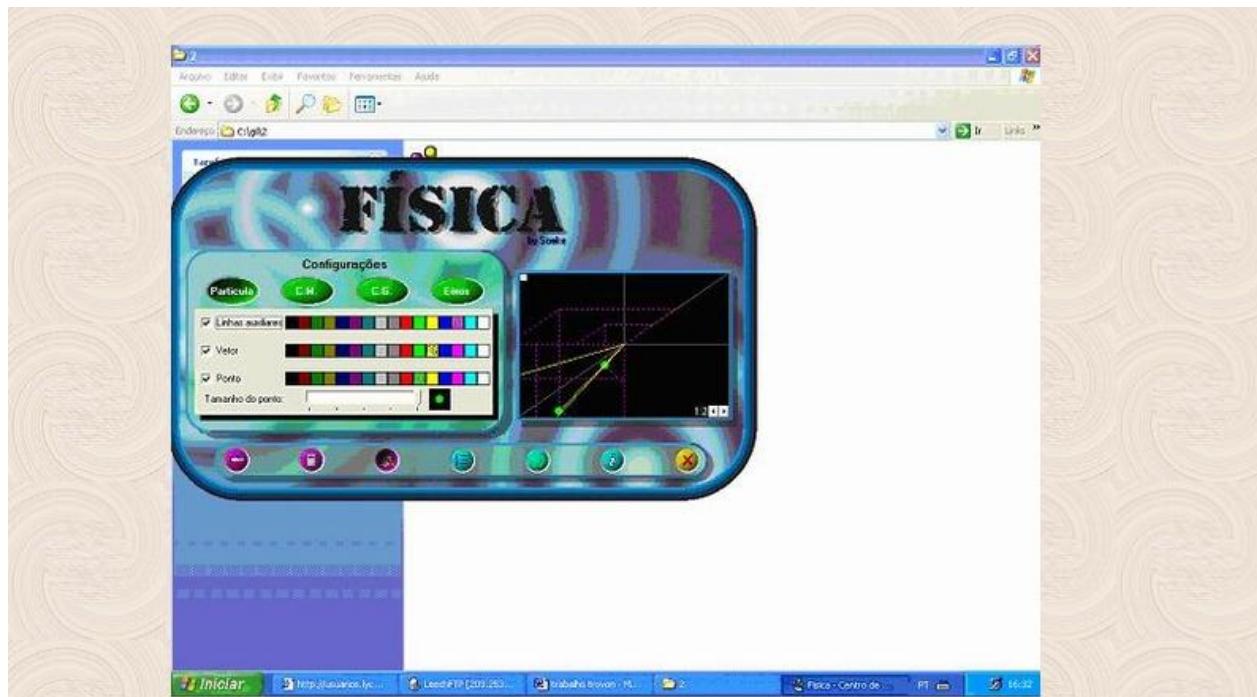


Figura 48 : A mudança na escala.



Figura 49: Manipulando o gráfico com o uso do mouse.



Figura 50 : Os resultados e sua representação gráfica.



Figura 51: As possibilidades de escolha do assunto.

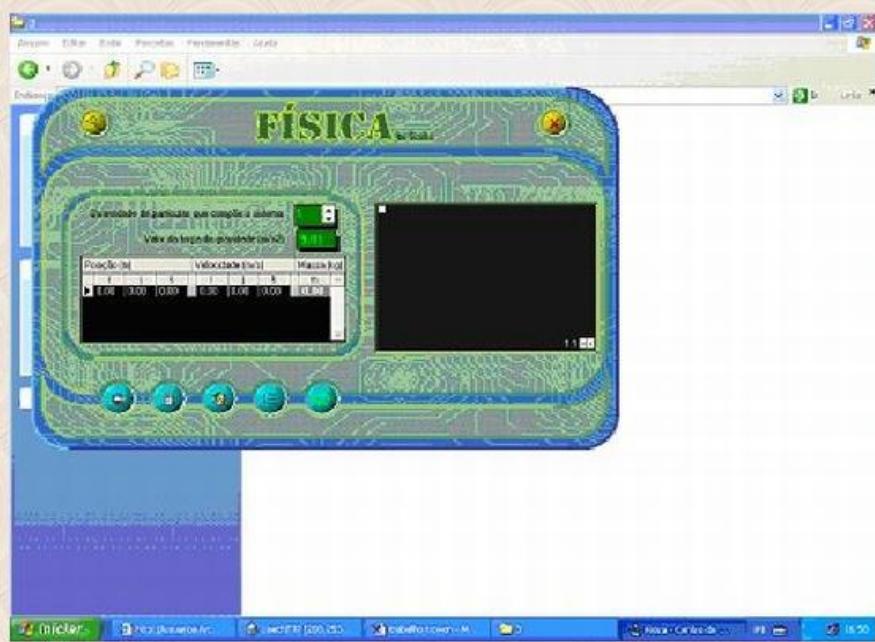


Figura 52 : A escolha dos itens.



Figura 53: A mostra dos itens.



Figura 54 : Novos itens.



Figura 55: A entrada de dados para o item escolhido.



Figura 56 : Uma nova escolha.

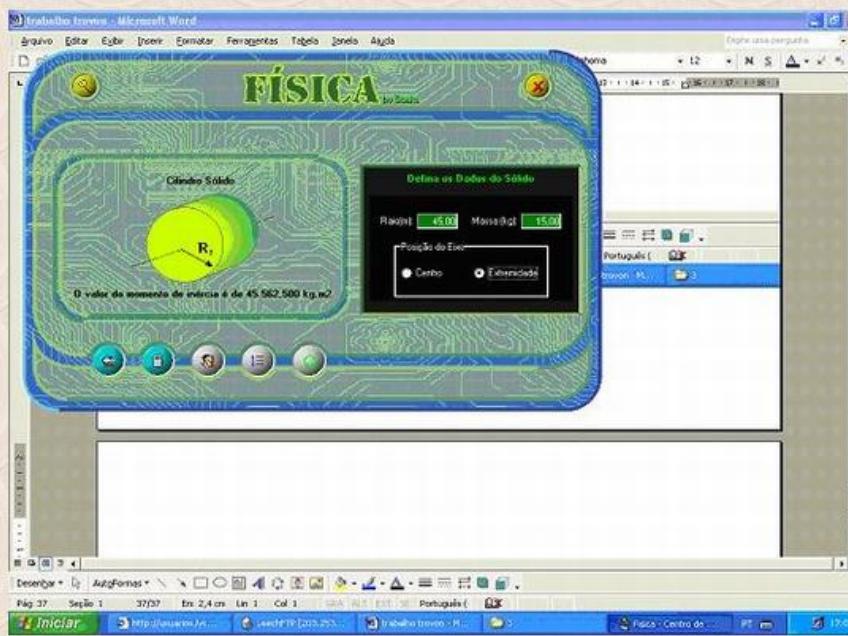


Figura 57: O novo cálculo.



Figura 58 : Mudando a posição do eixo.

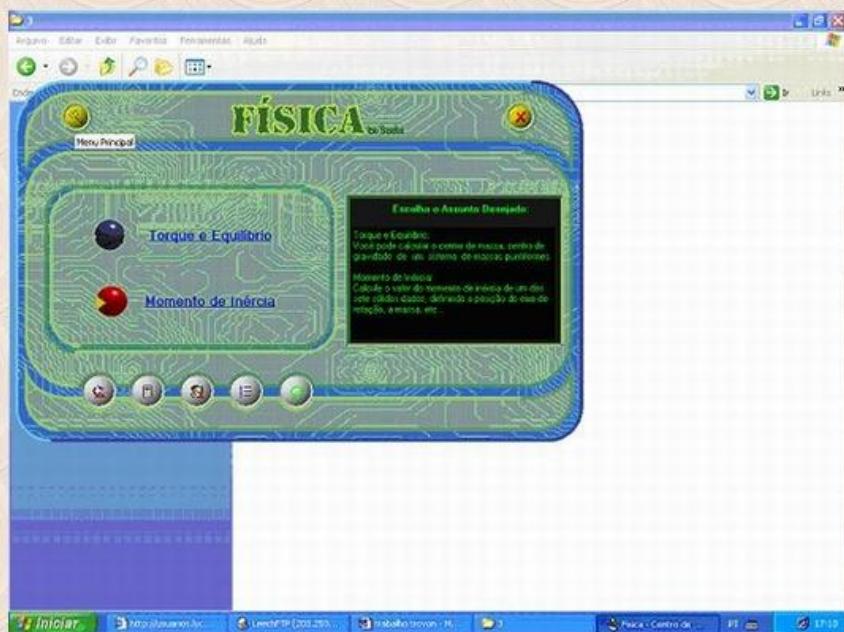


Figura 59: Retornando ao menu principal.