

UM TUTOR INTELIGENTE PARA O ENSINO DE XADREZ

José Francisco de Magalhães Netto

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO.

Aprovada por:



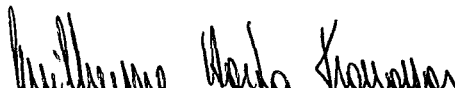
Prof. Ana Regina Cavalcanti da Rocha, D.Sc.
(Presidente)



Prof. Crediné Silva de Menezes, D.Sc.



Prof. Geraldo Bonorino Xexéo, D.Sc.



Prof. Guilherme Horta Travassos, D.Sc.



Prof. Neide dos Santos, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
MARÇO DE 1995

NETTO, José Francisco de Magalhães

Um Tutor Inteligente para o Ensino de Xadrez
[Rio de Janeiro] 1995

ix, 138 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.

Engenharia de Sistemas e Computação, 1995)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro,
COPPE

1. Tutores Inteligentes

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

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

UM TUTOR INTELIGENTE PARA O ENSINO DE XADREZ

José Francisco de Magalhães Netto

MARÇO, 1995

Orientadora: Ana Regina Cavalcanti da Rocha, D.Sc.

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

Esta tese apresenta um tutor inteligente de xadrez, baseado nos resultados teóricos mais recentes no uso de computadores para a Educação.

O xadrez é uma aplicação ideal para tutores inteligentes, pois é um domínio bem definido, um problema altamente complexo e é capaz de desenvolver habilidades cognitivas em crianças e adolescentes.

UM TUTOR INTELIGENTE PARA O ENSINO DE XADREZ

Aluno: José Francisco de Magalhães Netto

Orientadora: Profa. Dra. Ana Regina Cavalcanti da Rocha

Co-orientador: Prof. Dr. Geraldo Bonorino Xexéo

AGRADECIMENTOS

À Profa Ana Regina pelas idéias, incentivo e amizade.

Ao Xexéo, pelo esforço constante para que eu atingisse o objetivo.

À Neide pela paciência e incentivo.

Ao Guilherme, pelo estímulos e paciência.

Ao Crediné, pelos bons exemplos e por incentivar eu estar aqui.

À Gilda, por me mostrar os caminhos e me convencer de que é possível chegar lá.

Aos amigos de Manaus, Pio, Anibal, Alexandre, Liev, Augusto, Tatiana,...

Aos amigos da COPPE, pelo constante incentivo.

Aos funcionários pela presteza e atenção.

Abstract of Thesis to COPPE/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

AN INTELLIGENT TUTOR TO TEACH CHESS

José Francisco de Magalhães Netto

MARCH, 1995

Thesis Supervisor: Ana Regina Cavalcanti da Rocha, D.Sc.

Departament: Engenharia de Sistemas e Computação

This thesis presents an intelligent chess tutor, based on the most recent theoretical and experimental results in the use of computer for Education.

Chess is an ideal application for an intelligent tutor, since it is a well-defined domain, a highly complex problem and its able to develop cognitive skills in children and teenagers.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1:	
INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos da tese	5
1.2 Organização da tese	5
CAPÍTULO 2:	
TUTORES E ASSISTENTES: UMA INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS TUTORIAIS INTELIGENTES	7
2.1 Introdução	7
2.2 Aspectos Cognitivos de Softwares Educativos	9
2.3 Sistemas Tutores Inteligentes	14
2.3.1 Definição	14
2.3.2 Estrutura de um Tutor Inteligente	16
2.3.2.1 Modelo Proposto por Fairweather	16
2.3.2.2 Modelo Proposto por Viccari e Oliveira	17
2.3.2.3 Modelo Proposto por O'Shea	18
2.3.2.4 Sistema de Transmissão de Conhecimento	19
2.3.3 Descrição dos Componentes	21
2.3.3.1 Controle	21
2.3.3.2 Modelo do Aluno	21
2.3.3.3 Modelo Instrucional	24
2.3.3.4 Modelo de Tarefas	24
2.3.3.5 Interface	24
2.3.4 Tutores Inteligentes	24
2.3.4.1 Definição	25
2.3.4.2 Exemplos de Tutores Inteligentes	25
2.3.4.2.1 SCHOLAR	26
2.3.4.2.2 GUIDON	27
2.3.4.2.3 WHY	30
2.3.5 Assistentes Inteligentes	32
2.3.5.1 Definição	32
2.3.5.2 Exemplos de Assistentes Inteligentes	33
2.3.5.2.1 MACSYMA ADVISOR	33
2.3.5.2.2 Assistente de Análise e Projeto Estruturado	36
2.3.5.2.3 WEST	36
2.3.6 Cenários de Aprendizagem em Sistema Tutorial Inteligente	41
2.3.7 Características de um Sistema Tutor Inteligente	43
2.3.8 Ciclo de Tutoração	45
2.3.9 A Utilização dos Sistemas Tutoriais Inteligentes	46
2.3.10 A Representação do Currículo	50

2.4 Conclusões e Outras Questões	53
CAPÍTULO 3:	
O JOGO DE XADREZ	56
3.1 Introdução	56
3.2 Métodos de Ensino/Aprendizagem	57
3.3 Descrição do Xadrez	62
3.4 Fases de uma Partida	66
3.5 Premissas Educacionais da Prática do Jogo de Xadrez	67
3.6 Etapas do Ensino e Aprendizado	73
3.7 Avaliação de Força de Jogadores	75
3.8 Aspectos de Inteligência Artificial	77
3.9 O Modelo de Shannon	81
3.9.1 A Função de Avaliação	82
3.9.2 A Busca	83
3.10 Conclusões	86
CAPÍTULO 4:	
UM TUTOR INTELIGENTE DE XADREZ	88
4.1 Introdução	88
4.2 Objetivos	91
4.3 A Arquitetura	91
4.3.1 Controle	92
4.3.2 Modelo do Aluno	94
4.3.3 Treinador	95
4.3.3.1 Estratégias de Ensino	96
4.3.3.2 Currículo	97
4.3.4 Módulo Especialista em Xadrez	98
4.3.4.1 Gerador de Lances	98
4.3.4.2 Avaliador de Lances	98
4.3.4.3 Regras	98
4.3.4.4 Conselhos	99
4.3.4.5 Abertura	99
4.3.4.6 Partidas Clássicas	99
4.3.5 Interface	99
4.4 Uma Possível Interação com o Aluno	100
4.5 Implementação	103
CAPÍTULO 5:	
CONCLUSÕES	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
APÊNDICE I	121

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Tentativa de esquematização do construtivismo [Jona93]	11
FIGURA 2 - Domínio dos sistemas ICAI [Vicc91]	15
FIGURA 3 - Estrutura básica de um tutor inteligente [Fair92]	17
FIGURA 4 - Arquitetura de um sistema tutor inteligente [Vicc92]	18
FIGURA 5 - Modelo dos cinco anéis [Soko91]	19
FIGURA 6 - Estrutura de sistema de comunicação de conhecimento [Weng87]	20
FIGURA 7 - Os modelos overlay (a) e de perturbação (b) [Vicc92]	22
FIGURA 8 - Excerto de um diálogo com SCHOLAR [Weng87]	26
FIGURA 9 - Relação entre o MYCIN e o GUIDON [Clan87b]	28
FIGURA 10 - Excerto do tutorial do GUIDON usando a base de conhecimento do SACON [Clan87b]	29
FIGURA 11 - T-rule para decidir como completar discussão de um tópico [Barr82]	30
FIGURA 12 - Excerto de um diálogo com WHY [Weng87]	31
FIGURA 13 - Uma consulta com o MACSYMA ADVISOR [Weng87]	34
FIGURA 14 - Reconstrução de plano gerado pelo MACSYMA ADVISOR [Clan87a]	35
FIGURA 15 - O jogo WEST [Weng87]	37
FIGURA 16 - Exemplo de assistência pelo WEST [Clan87a]	38
FIGURA 17 - Arquitetura do assistente inteligente WEST [Burt82]	39
FIGURA 18 - Ciclo de tutoração [Cava91]	45
FIGURA 19 - Uma região do grafo genético WUSOR [Weng87]	51
FIGURA 20 - Um grafo de precedência para sete conceitos [Clar93]	52
FIGURA 21 - Regras práticas nas aberturas [D'Ag93]	60
FIGURA 22 - As peças e suas representações gráficas	62
FIGURA 23 - O tabuleiro de xadrez	63
FIGURA 24 - Posição inicial do xadrez	64
FIGURA 25 - O tabuleiro e anotação algébrica	65
FIGURA 26 - Exemplo de partida anotada pelo sistema algébrico [D'Ag93]	65
FIGURA 27 - Relacionamento de <i>plies</i> e <i>rating</i> [Hsu90a]	85
FIGURA 28 - A arquitetura do Tutor Inteligente de Xadrez	92
FIGURA 29 - Uma regra usada pelo Controle	93
FIGURA 30 - Exemplo de Modelo do Aluno	95
FIGURA 31 - Uma estratégia do Treinador	96
FIGURA 32 - Trecho da representação curricular	97
FIGURA 33 - Uma regra de xadrez	99
FIGURA 34 - Um conselho para realizar roque	99
FIGURA 35 - Interface do Tutor Inteligente de Xadrez	100
FIGURA 36 - Uma advertência para um lance irregular	102
FIGURA 37 - Arquitetura do Tutor Inteligente de Xadrez	122

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Relação entre categoria e <i>rating</i>	75
TABELA 2 - Níveis de assistência do Tutor Inteligente de Xadrez	94
TABELA 3- Máquina de estados do Tutor Inteligente de Xadrez	123

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Os últimos anos têm se caracterizado por um aumento na utilização educacional de computadores. Um número cada vez maior de programas específicos está sendo projetado e utilizado com esse propósito. Esse novo paradigma educacional, caracterizado pela entrada dos computadores nas escolas e lares, alterando as relações tradicionais entre alunos e professores, e possibilitando o acesso a variados conhecimentos, é visto por alguns estudiosos como uma nova revolução na Educação. A idéia que prevalece é que os computadores melhorariam a aprendizagem e apoiariam formas diferentes de pensar e aprender [Pape94].

Embora tenha havido uma evolução significativa, os softwares educacionais desenvolvidos têm limitações e em geral são do tipo Instrução Baseada em Computador (IBC), também conhecidos pela sigla inglesa CAI (Computer Aided Instruction), ou Treinamento Baseado em Computador (TBC), apresentando restrições quanto a aspectos cognitivos [Park87]. Essas limitações são significativas pois um grupo de alunos escolhido dentro da mesma faixa etária ou mesma série, apresenta, individualmente, capacidades distintas, interesses e estágios de conhecimento variados.

Outra restrição séria que se faz ao software educacional tradicional é que este contém conhecimentos importantes - tais como o domínio do assunto abordado e as técnicas pedagógicas empregadas - em uma forma implícita, de tal forma que não podem ser facilmente modificados ou reutilizados [Good90].

Surge, então, a necessidade de produtos de software educacional que possuam um grau de adaptabilidade maior nas atividades de ensino/aprendizagem. Essa adaptabilidade deve prover os programas da capacidade de reconhecer os diversos estágios de

conhecimento em que se encontram os alunos e a possibilidade de utilização de estratégias apropriadas e variadas para a superação de cada degrau instrucional, atuando em cada caso individualmente, simulando uma situação ideal de um professor para cada aluno.

Nesse contexto devemos observar que o processo ensino/aprendizagem é um processo dinâmico entre pelo menos dois agentes (professor-aluno, computador-aluno). O aprendizado refere-se à aquisição de habilidades e fatos específicos e memorização de informações específicas [Piag93]. Bruner considera o ensino um esforço para auxiliar ou moldar o desenvolvimento [Brun76]. O ensino deve ser tomado como um processo participativo entre elementos (tradicionalmente professor-aluno), visando atingir, manter ou ultrapassar um determinado estágio cognitivo. Os processos de ensino/aprendizagem são estudados pelas Ciências Cognitivas.

Para a consecução desse objetivo tem-se utilizado como instrumento a Inteligência Artificial (IA) que é a ciência que estuda a mecanização das técnicas cognitivas e procura simular o pensamento humano [Wins84]. Aplicando-se tais técnicas ao desenvolvimento de Sistemas de Instrução Baseados em Computador, chegamos à Instrução Assistida por Computador Inteligente, mais conhecida pela sigla inglesa ICAI ("Intelligent Computer-Assisted Instruction"), que visa gerar produtos altamente individualizados e poderosos [Park87], criando um ambiente cooperante para o ensino e a aprendizagem, com a participação ativa do estudante [Vicc90].

A Inteligência Artificial começou a ser usada na metade dos anos 60 durante o período inicial do desenvolvimento da Ciência da Computação. No final da década de 60, cientistas propuseram uma alternativa às técnicas de programação, então vigentes, estritamente numéricas, propondo o que se chama de "Inteligência Artificial". Inteligência, nesse contexto significa a possibilidade de se fazer inferências e o termo artificial implica em que não haja nenhuma restrição em como isso é conseguido [Park87].

Uma característica da Inteligência Artificial é a utilização de *heurísticas* na solução de problemas. Heurística, segundo Feigenbaum e Feldman, "é uma regra prática, estratégia, simplificação ou outro tipo de meio que limita drasticamente as buscas por soluções em problemas de grande espaço" [Barr81].

Inicialmente, a Inteligência Artificial focalizava seus problemas em linguagem natural, reconhecimento de padrões e sistemas de produção. No final da década de 70, com o advento dos *sistemas especialistas* - uma tentativa de projetar programas de computadores que modelam as decisões como especialistas em determinada área o faziam - houve uma ampliação do espectro de assuntos abordados pela IA. Hoje os sistemas especialistas são abordados numa classe mais abrangente denominada *sistemas baseados em conhecimentos* [Wate86].

Os sistemas especialistas são formados por uma base de conhecimentos, composta por uma base de fatos e uma base de regras, uma máquina de inferência, que são os procedimentos gerais para a resolução de problemas e uma interface que permite a comunicação homem-programa [Rich88]. Wenger salienta que a separação entre a base de conhecimentos e o interpretador possibilita um acesso mais efetivo a pedaços modulares de conhecimento, que são expressos declarativamente e podem ser entendidos separadamente [Weng87].

Essa modularização apresenta um aspecto importante do ponto de vista pedagógico que é poder ser utilizada pela máquina de inferência para executar tarefas tais como responder questões e explicar que razões - cadeias de inferências - levaram a chegar a determinada conclusão. Contudo sistemas especialistas não são necessariamente um professor especialista, pois lhes falta, por exemplo, as capacidades de construir o modelo da solução do aluno e de travar um diálogo sistemático e ativo com o aluno [Barr82] [Wool88].

A atenção da IA para software educacional efetivamente iniciou-se em 1970, com o surgimento do primeiro ICAI, o SCHOLAR, voltado para o ensino da Geografia da América do Sul, elaborado por Carbonell [Weng87].

Os ICAIs caracterizam-se por uma abordagem adaptativa procurando, através de diálogos com o estudante, as melhores formas de transmitir conhecimentos. Os ICAIs englobam os *Tutores Inteligentes*, os *Sistemas Especialistas* voltados para o ensino e os *Assistentes Inteligentes*.

Os Tutores Inteligentes e os Assistentes Inteligentes pertencem à classe dos *Sistemas Baseados em Conhecimento*. Wenger adota a classificação de *Sistema de Comunicação de Conhecimento*, para os Tutores Inteligentes e Assistentes Inteligentes, enfatizando o aspecto de ensino/aprendizagem como um processo de comunicação [Weng87]. Alguns autores denominam Tutores Inteligentes de *Sistemas Tutores Inteligentes* ou *Sistema Tutorial Inteligente* e, também, *Sistemas de Ensino Inteligente*. Galvis chama *Software Educativo Inteligente*, indistintamente, aos Sistemas Baseados em Conhecimento voltados para a Educação [Galv91].

Há uma tendência atual em se considerar a interação homem/computador pela teoria dos *agentes* [Oliv94] [Riec94] [Selk94]. Agente é um programa de computador que simula um relacionamento humano, fazendo algo que uma outra pessoa poderia fazer por você [Selk94]. Agentes têm um potencial de participar ativamente no acompanhamento de tarefas [Smit94]. Esta nova abordagem abre novas perspectivas em softwares que trabalham com ensino/aprendizagem. Viccari e Oliveira apontam pontos de contato entre Aprendizagem de Máquina e Sistemas Tutores Inteligentes, isto é, entre o estudo de processos que descrevam os mecanismos de ensino/aprendizagem e a construção de sistemas que ensinam/aprendem [Vicc92].

Nesse texto utilizamos os termos Tutor Inteligente, Sistema Tutorial Inteligente e Sistema de Comunicação de Conhecimento, como análogos.

1.1 Objetivos da tese

Nessa tese propomos um tutor inteligente para o ensino de xadrez. Fazemos, também, uma revisão bibliográfica dos sistemas tutores inteligentes e uma introdução ao jogo de xadrez, dando ênfase ao aspecto educativo e revemos na literatura as formas de automatização de jogos de xadrez.

1.2 Organização da tese

A tese é dividida em 5 capítulos.

O capítulo 1 refere-se à introdução desse trabalho, sendo apresentados os conceitos básicos e a terminologia relacionados com sistemas tutoriais inteligentes.

O capítulo 2 conceitua tutores inteligentes e assistentes inteligentes, sendo mostrados exemplos desses dois tipos de software educacional. Inicialmente situa-se os tutores inteligentes dentro do contexto de uma prática educacional e são evidenciados os benefícios que advêm da utilização desse tipo de software. Apontam-se trabalhos em currículo, que serviram para estruturação a um nível macro do conhecimento nesse trabalho. São discutidos os modelos de arquiteturas mais freqüentes na literatura e é feito um estudo dos componentes de um tutor inteligente, dando ênfase ao modelo do aluno.

O capítulo 3 apresenta o jogo de xadrez, sendo mostrados os componentes, seus objetivos e uma terminologia básica. Procura-se avaliar o mérito educacional desse jogo milenar e é proposto um currículo mínimo. Faz-se um estudo do jogo com a Inteligência Artificial e são mostradas as idéias básicas de implementação de softwares de jogo de xadrez.

O capítulo 4 trata da proposta de uma arquitetura de um tutor inteligente para o ensino de xadrez e da implementação de um protótipo. Nessa tarefa é mostrado como se dão as interações tutor-aluno.

O capítulo 5 apresenta as conclusões, abrangendo os resultados atingidos bem como suas limitações. Ao final são propostas continuações e aplicações desse trabalho.

CAPÍTULO 2

TUTORES E ASSISTENTES: UMA INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS TUTORIAIS INTELIGENTES

Neste capítulo mostra-se o estado da arte em tutores e assistentes baseados em conhecimento, aqui designados como Sistemas Tutoriais Inteligentes.

Os objetivos principais do capítulo são discutir aspectos cognitivos de softwares educacionais, situando o sistema tutorial inteligente, apresentar as características estruturais, discutir a efetividade didática de seu uso e levantar as características comuns aos tutores e assistentes inteligentes, que ofereçam subsídios para o projeto ou utilização de software deste tipo.

Finalmente são apresentadas opções de implementação, baseadas na literatura sobre este tema.

2.1 Introdução

Os sistemas tutores inteligentes surgiram na mesma época dos *sistemas gerativos*, sistemas capazes de gerar problemas e suas soluções, como uma necessidade de ampliar as capacidades de ensino de tais sistemas e, também, por uma questão de explorar novas possibilidades [Soko91][Vicc92]. Historicamente situa-se o *SCHOLAR* como o primeiro tutor inteligente, utilizando técnicas de Processamento de Linguagem Natural e de Sistemas Especialistas, que na época tiveram grande evolução.

O contexto de uso do computador na educação na época de surgimento dos tutores inteligentes representado pelos CAIs tradicionais apresentava algumas tendências que iriam influenciar aquele conceito emergente: o estudo da interação entre o domínio do conhecimento e a seqüência de ensino, por Ralph Kimball; as pesquisas sobre

representação de currículos, por Barr nos projetos BIP-1 (Basic Instructional Program) e BIP-2 [Weng87]. Não podemos, também, desconsiderar que as limitações dos CAIs tradicionais amplamente divulgados tenham sido um fator motivador para a procura de novas abordagens.

A utilização de tutores inteligentes é baseada fortemente na hipótese da efetividade da tutoração um-a-um. Estudos realizados por Bloom, divulgados em 1984, citados por Woolf, apontam na efetividade desta hipótese [Wool88]. Em experimentos a tutoração um-a-um superou as formas convencionais de ensino, chegando a uma eficiência de 98%. Sokolnicki pondera que a noção de um sistema tutor inteligente implica no uso do computador em diversas funções tais como as de professor, de tutor e de observador [Soko91].

Atualmente alguns autores da área como J.Self reavaliam o papel do computador como um professor autorizado de conhecimento, sugerindo a idéia de que o computador pode ser tratado como um colaborador (ou co-aprendiz). Como alternativa à tutoração um-a-um, Chan *et al* propõem que o computador possa simular dois agentes coexistindo como professor e como companheiro de aprendizado [Chan93]. Chan observa que a inclusão de um companheiro de aprendizado aos modelos de tutores inteligentes tradicionais incrementa tanto a *colaboração* quanto a *competição*. Nessa linha de repensar o papel dos tutores inteligentes surgem os Sistemas Tutores Inteligentes Colaborativos e os Ambientes de Aprendizagem Inteligente. Os sistemas tutores inteligentes estendem a ação na direção de grupos de alunos, dentro da linha do Trabalho Cooperativo Apoiado em Computador, mais conhecido pela sigla inglesa CSCW (Computer-Supported Cooperative Work) [Mcma93]. Os ambientes de aprendizagem inteligente, conhecidos pela sigla inglesa ILE (Intelligent Learning Environment), baseiam-se nos sistemas multi-agentes cooperativos, provenientes da Inteligência Artificial Distribuída [Oliv94].

2.2 Aspectos Cognitivos de Softwares Educativos

Software educativo ou software educacional é um programa de computador usado com finalidade educativa, apresentando-se nas categorias de tutorial, exercício-e-prática, jogos educacionais e simulação [Vale93]. Diversos autores sustentam que uma das principais limitações dos softwares educativos evidencia-se sob o ponto de vista cognitivo [Weng87] [Vicc90] [Galv91]. Os primeiros softwares educativos foram elaborados por equipes formadas predominantemente por profissionais da área de computação. O fracasso pedagógico destes primeiros softwares levou a um repensar sobre o modo de atuar destes softwares e à formação de equipes multidisciplinares para a realização de produtos mais eficientes.

As primeiras tentativas de se incorporar uma teoria cognitiva consistente aos softwares educacionais foram através da adoção das idéias de Skinner (*behaviorismo*) [Vicc90]. A limitação era que os softwares produzidos exigiam respostas do tipo certo-errado com pequena contribuição em termos de conhecimento para o aluno. Greenfield [Gree84] sublinha que os softwares do tipo IBC (Instrução Baseada em Computador) apresentam como principal limitação o fato de serem mais apropriados para exercitar habilidades do que para ensinar algo novo.

A adoção de uma teoria cognitiva no projeto e utilização de softwares educacionais leva a uma discussão na forma como se processa a aprendizagem na relação aluno-computador representados pelos enfoques algorítmico e heurístico [Galv90]. Skinner, John Dewey e Gagné são as bases da estratégia algorítmica, que enfatiza, em especial, o condicionamento operante skinneriano e as contingências de reforço [Rapk90]. A estratégia algorítmica está, também, relacionada com o *ensino programado* [Vale93]. Piaget, Vygotsky, Brunner e Papert são os nomes mais freqüentemente associados à estratégia heurística, onde a construção ou aquisição de conhecimento dá-se por descobertas, cabendo ao aluno procurar os caminhos que o levem ao conhecimento, incentivado por um ambiente motivador.

Na Educação, o termo heurístico, freqüentemente, é associado à *aprendizagem por descoberta* e ao *construtivismo*. A aprendizagem por descoberta tem sido aplicada em situações em que o estudante é livre para direcionar o curso de seu estudo [Majo93]. O construtivismo, segundo Freitag [Frei93], é descrito como uma corrente de pensamento que vê o processo de aprendizagem como uma construção, onde o pensamento constrói-se e desconstrói-se, baseando-se no pressuposto, defendido por Piaget, de que "as estruturas de pensamento das crianças, do julgamento e da argumentação são o resultado de uma construção realizada por parte da criança em longas etapas de reflexão, de remanejamento". Os mecanismos básicos no construtivismo são a *acomodação* e a *assimilação* [Piag93]. A assimilação é a mudança de representação do mundo para encaixar-se aos seus modos de pensar e a acomodação é a adaptação de seus modos de pensar para se encaixar ao mundo [Pape94].

O construtivismo como teoria psicogenética pressupõe que existem mecanismos iguais para a construção do conhecimento para todos os seres humanos e que portanto apresentem um grau de independência em relação a fatores sócio-históricos [Tail93]. No construtivismo, como enfatiza Papert, evidencia-se que o conhecimento não pode ser "transmitido" ou "transferido pronto", sugerindo que a aprendizagem se faz por uma "reconstrução", gerando uma versão pessoal do conhecimento [Pape93].

Jonassen [Jona94] apresenta uma discussão sobre o construtivismo, onde são colocados os principais fatores e suas inter-relações, conforme pode ser visto na figura 1.

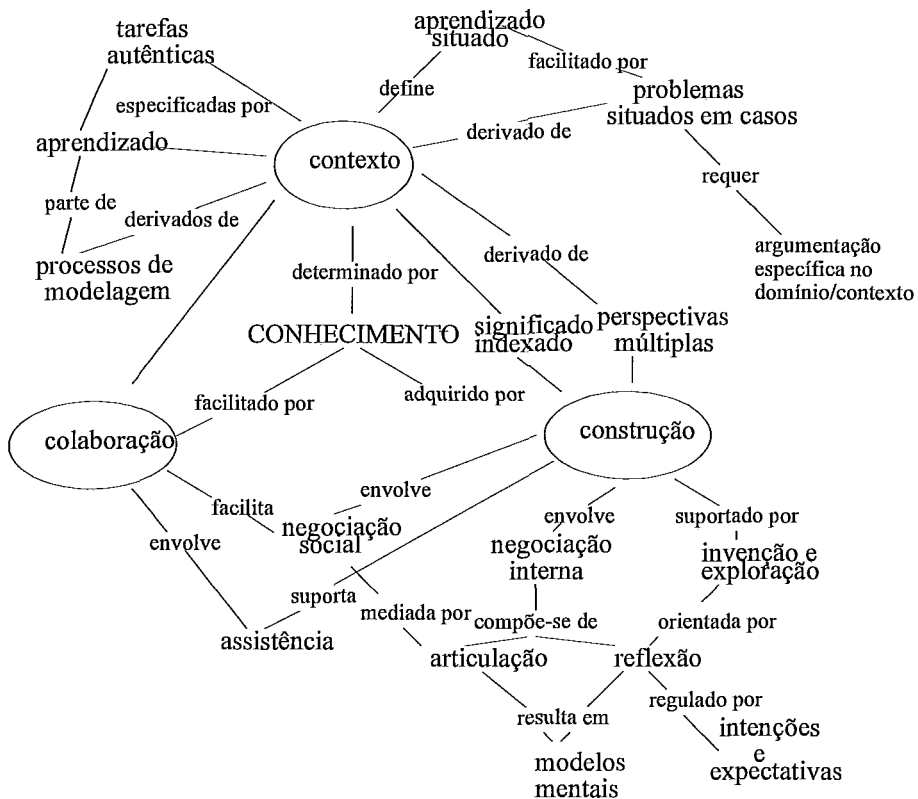


Figura 1: Tentativa de esquematização do construtivismo

(trabalho em progresso; a ser completado) [Jona94]

No esquema desenvolvido por Jonassen aparecem as palavras-chaves contexto, colaboração e construção, que são os elementos básicos na teoria piagetiana de formação do conhecimento.

Papert, discípulo de Piaget, é um dos nomes mais citados quando se fala em construtivismo, pois ao criar a linguagem LOGO, conseguiu por na prática suas idéias. A linguagem LOGO foi desenvolvida na década de 1970, no MIT (Massachusetts Institute of Technology), por pesquisadores de Inteligência Artificial [Pape93]. O LOGO além de uma linguagem de computação, é uma filosofia de educação. Esse autor criou o paradigma construcionista, influenciado pelo construtivismo [Pape93] [Vale93].

No construcionismo a aprendizagem dá-se através do fazer algo com o computador que seja do interesse do aprendiz, tarefa para a qual o mesmo esteja bastante motivado [Vale93]. As interações do aprendiz com o computador no paradigma construtivista são consideradas do mesmo nível das interações com outros objetos do mundo real, conforme considerados pela teoria piagetiana.

Vygotsky estudou o processo de aprendizagem sob a influência da linguagem e do meio social como agente formador, através da figura do mediador e aspectos de colaboração [Tail92] [Vygo93]. Segundo esse autor a aprendizagem ocorre na ZDP (zona de desenvolvimento proximal), que é uma região de sensibilidade à instrução, que corresponde à distância entre a solução de problemas que a criança pode alcançar sem assistência e a solução de problemas em que a assistência é útil [Saxe93].

As idéias de Vygotsky relacionam-se fortemente com o papel do social na aprendizagem, enfatizando aspectos de *cooperação* e *colaboração* que na atualidade representam uma importante tendência no projeto e uso dos softwares educacionais. A cooperação é "executada pela divisão do trabalho entre os participantes, onde cada pessoa é responsável por uma porção da solução do problema"¹ [Bake94]. A cooperação relaciona-se com a Educação através da aprendizagem cooperativa [Nett92]. A colaboração² é definida como uma "atividade coordenada e síncrona que é o resultado de uma tentativa continuada de construir e manter uma concepção compartilhada de um problema" [Blan94]. Uma importante derivação do trabalho de Vigotsky é o estudo da interação de pequenos grupos e pares [Dani93], que é objeto de estudos na área de colaboração em softwares educativos [Luce93].

As teorias cognitivas de Piaget e Vygotsky servem de base teórica para inúmeras pesquisas e trabalhos em Educação e influenciam o desenvolvimento de softwares

¹Definição de Roschelle e Behrend

²Idem

educacionais. Contudo podemos enumerar pelo menos dois fatores que dificultam o projeto de softwares educacionais totalmente inseridos na teoria construtivista:

- os estágios atuais de compreensão dos processos cognitivos não fornecem métodos precisos que levem à aplicação direta;
- a rapidez do avanço tecnológico na área de computação cria novas potencialidades ao computador, gerando, entre outras aplicações, novos softwares educacionais; essa constante mudança não favorece um amadurecimento de idéias.

As dificuldades fazem com que surja uma visão pragmática, onde são implementadas teorias cognitivas possíveis dentro do contexto.

A idéia de sistemas tutores inteligentes surgiu como uma proposta de evolução de softwares educacionais. A inserção de psicólogos, especialistas em cognição e de pedagogos nas equipes que projetam tutores inteligentes, cristalizou uma preocupação com os aspectos cognitivos e educativos do projeto e uso de tais softwares.

Uma vantagem dos tutores inteligentes sobre outros tipos de software educacional é a flexibilidade ao assumir o papel de outros softwares educacionais, conforme a necessidade. Segundo Galvis tutores inteligentes podem trabalhar tanto na abordagem algorítmica, assumindo as funções de tutor e exercício-e-prática, quanto na abordagem heurística, com as funções de simulador e micromundo, por exemplo [Galv90].

Para alguns autores, como Clancey [Alpa90] sistemas tutoriais inteligentes baseados em sistemas especialistas não são inteiramente adequados para propósitos educacionais. Clancey opina que "as regras de um sistema especialista são insuficientemente detalhadas para representar o conhecimento necessário para a solução de problemas dentro dos propósitos de um sistema educacional" [Clan87a].

Os sistemas tutores inteligentes, que englobam os tutores inteligentes e os assistentes inteligentes, procuram explorar técnicas de IA e tem sua base teórica nas ciências cognitivas. Segundo Viccari e Mousalle [Vicc90] a estrutura destes sistemas é dinâmica e, frequentemente, utilizam vários métodos de IA na organização do sistema. Na análise dos alunos é utilizada a depuração com base no conhecimento do módulo especialista. Os sistemas ICAI necessitam de recursos (programas e máquinas) específicos por causa do recurso às técnicas e metodologias da IA.

2.3 Sistemas Tutores Inteligentes

2.3.1 Definição

Tutor inteligente ou sistema tutorial inteligente (STI) são programas utilizados nas áreas de educação e treinamento, utilizando técnicas de inteligência artificial (IA) para representar o conhecimento e para conduzir a interação com o estudante [Brow82]. Os sistemas ICAI, que aprendem, são chamados de tutores inteligentes [Vicc90].

O objetivo principal de um sistema tutor inteligente é aumentar a capacidade do aluno de resolver problemas [Weng87]. Um tutor dito inteligente deve reconhecer e identificar os passos do aluno, construindo um modelo, o guia das execuções desta tarefa em função destes passos, avaliar esta produção e agir com uma intenção educativa [Gras93].

A inteligência nos sistemas tutores inteligentes é evidenciada e avaliada pelas seguintes capacidades:

- de solução dos mesmos problemas que são propostos ao aluno [Clan87a];
- de adaptação da instrução conforme o conhecimento do aluno [Weng87];
- de explanação [Malt94];
- pelas habilidades de representar o modelo do aluno [Petr93].

As diversas manifestações de inteligência de um sistema tutor inteligente se integram e possibilitam um relacionamento construtivo com o aluno.

Os tutores inteligentes, segundo Kearsley, são uma interseção da Ciência Cognitiva, Psicologia e Inteligência Artificial [Vicc90], conforme figura 2.

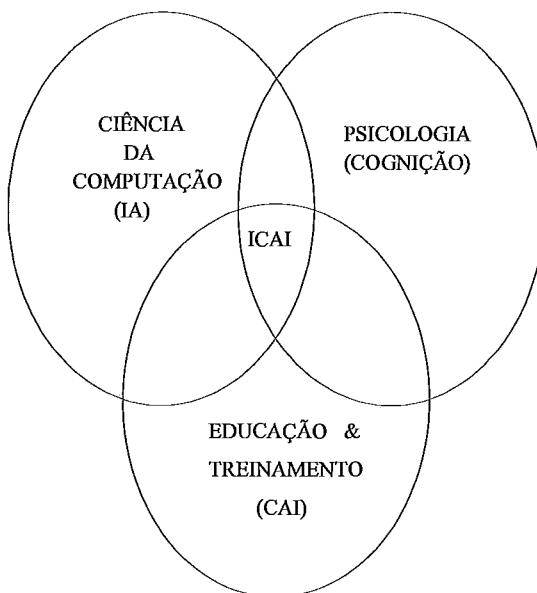


Figura 2: Domínio dos sistemas ICAI [Vicc90]

Segundo Bonar, a tutoração se apresenta em seis categorias básicas, refletindo diferentes níveis de iniciativa, nível de conhecimento do aluno e o equilíbrio entre a solução do problema e a demonstração [Soko91]. O nível mais alto é a *exploração*, onde o aluno procura a informação em um micromundo, para formar ou confirmar suas hipóteses; na *experimentação* o estudante tenta confirmar ou diferenciar hipóteses que são reconhecidas pelo tutor. Quando o estudante confirma suas hipóteses, através de uma *elaboração*, pode continuar a testá-la em outros casos. O tutor apresenta problemas ao estudante e dirige a interação, através de *diálogo didático*. O tutor pode *demonstrar* conceitos quando o aluno encontra-se perdido. Finalmente, durante a *assistência* o tutor

avança um degrau e pode prover esclarecimentos e alertas para que o aluno possa resolver um problema ou entender um conceito.

2.3.2 Estrutura de um Tutor Inteligente

Apresentamos nessa seção diversos modelos de arquiteturas de tutor inteligente: Fairweather (1992), Viccari e Oliveira (1991), O'Shea (Modelo dos Cinco Anéis - 1984) e Wenger (Sistema de Transmissão de Conhecimento - 1987). Por simplificação associamos os nomes dos autores ao modelo proposto.

2.3.2.1 Modelo proposto por Fairweather

Para Fairweather um tutor inteligente tipicamente possui a seguinte estrutura: uma base de conhecimentos no domínio que possibilita a resolução dos problemas (*Modelo de Tarefas*), um modelo de estudante que representa aquilo que o aluno conhece (*Modelo do Aluno* ou *do Estudante*), um repositório de estratégias pedagógicas (*Modelo Pedagógico*) e um banco de dados com eventos instrucionais (*Modelo Instrucional*). Esses quatro componentes de conhecimento comunicam-se entre si e com a interface do usuário produzindo uma estrutura semelhante à figura 3 [Fair92].

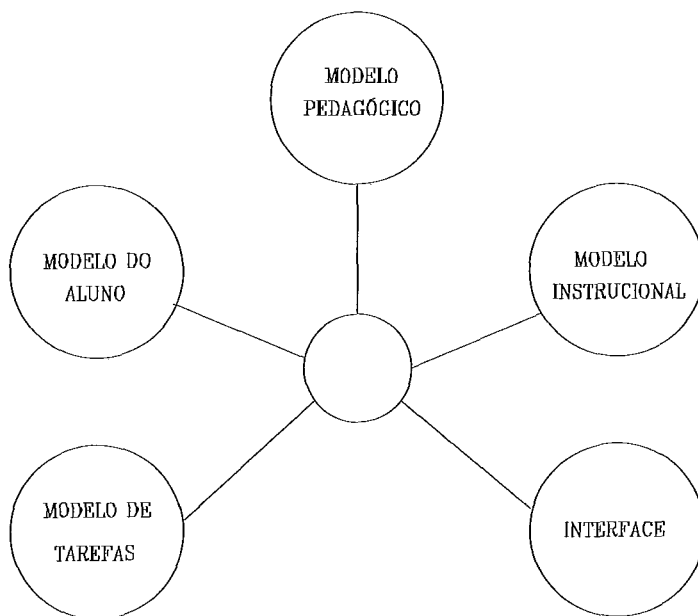


Figura 3: Estrutura básica de um tutor inteligente [Fair92]

O modelo acima proposto apresenta uma deficiência que é a de não caracterizar o controle.

2.3.2.2 Modelo proposto por Viccari e Oliveira

Nesse modelo são enfatizados o controle e as estratégias de ensino, conforme pode ser observado na figura 4 [Vicc92].

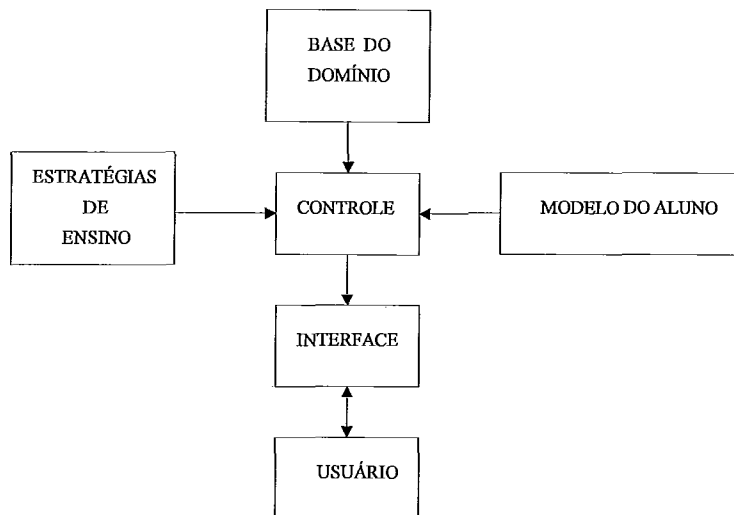


Figura 4: Arquitetura de um sistema tutor inteligente [Vicc92]

2.3.2.3 Modelo proposto por O'Shea

O'Shea *et al* propõem uma estrutura [Soko91], conhecida como modelo dos cinco anéis. O objetivo dos autores foi a produção de um sistema de autoria para projetistas sem habilidades em programação. Esse modelo é diretamente relacionado com o ciclo de tutoração (discutido na seção 2.3.8).

O modelo de O'Shea é composto de: *histórico do estudante*, um registro do material apresentado ao estudante e suas respostas; o *modelo do estudante*, que representa o estado atual de conhecimento do aluno e previsões de desempenho; a *estratégia de ensino*; o *administrador de ensino* e o *gerador de ensino* [Soko91]. A figura 5 mostra o modelo dos cinco anéis.

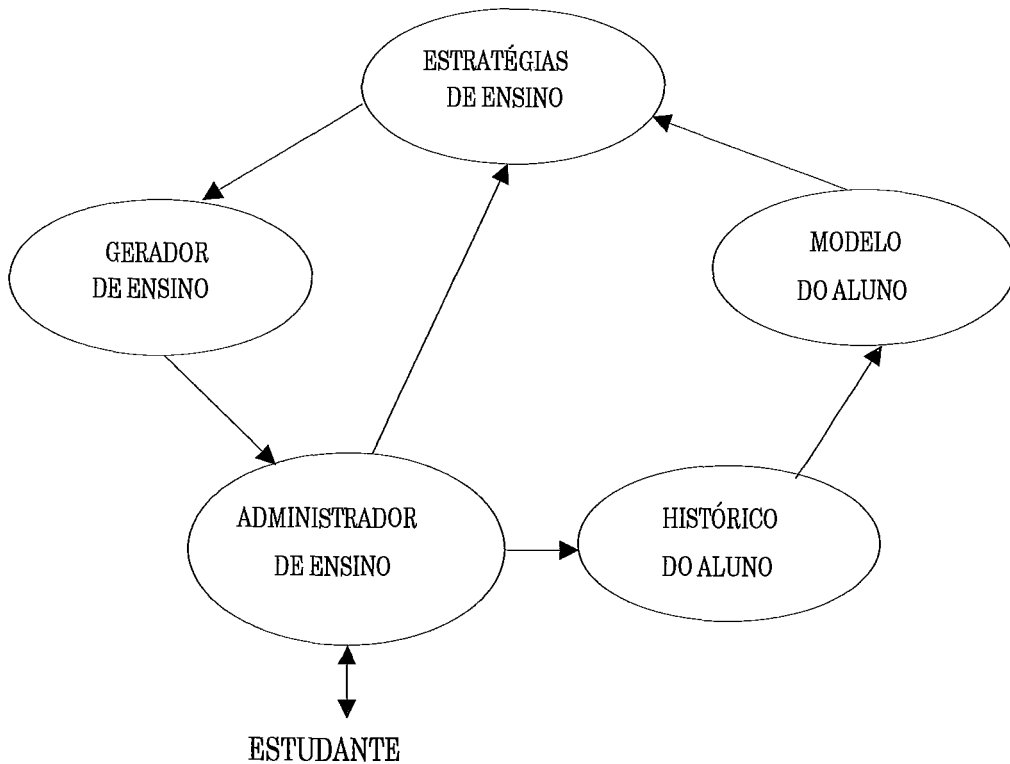


Figura 5: Modelo dos cinco anéis [Soko91]

2.3.2.4 Sistema de Transmissão de Conhecimento

Wenger [Weng87] propõe uma estrutura para sistemas tutoriais inteligentes designada sistemas de comunicação de conhecimento. Essa estrutura é mostrada na figura 6.

O nível de apresentação apóia o processo de comunicação fazendo a representação do conhecimento disponível. O nível de apresentação não participa diretamente das decisões pedagógicas. O módulo especialista pode responder

diretamente questões ao estudante, como no SCHOLAR e SOPHIE, ou prover informações a outros módulos quando for preciso.

As atividades dos módulos na metade superior da figura 6 resultam em decisões do curso de instrução, alternando entre percepção (diagnóstico) e ação (didática). A interação entre diagnóstico e didática torna explícito o tipo especial de conhecimento envolvido no gerenciamento global das funções pedagógicas.

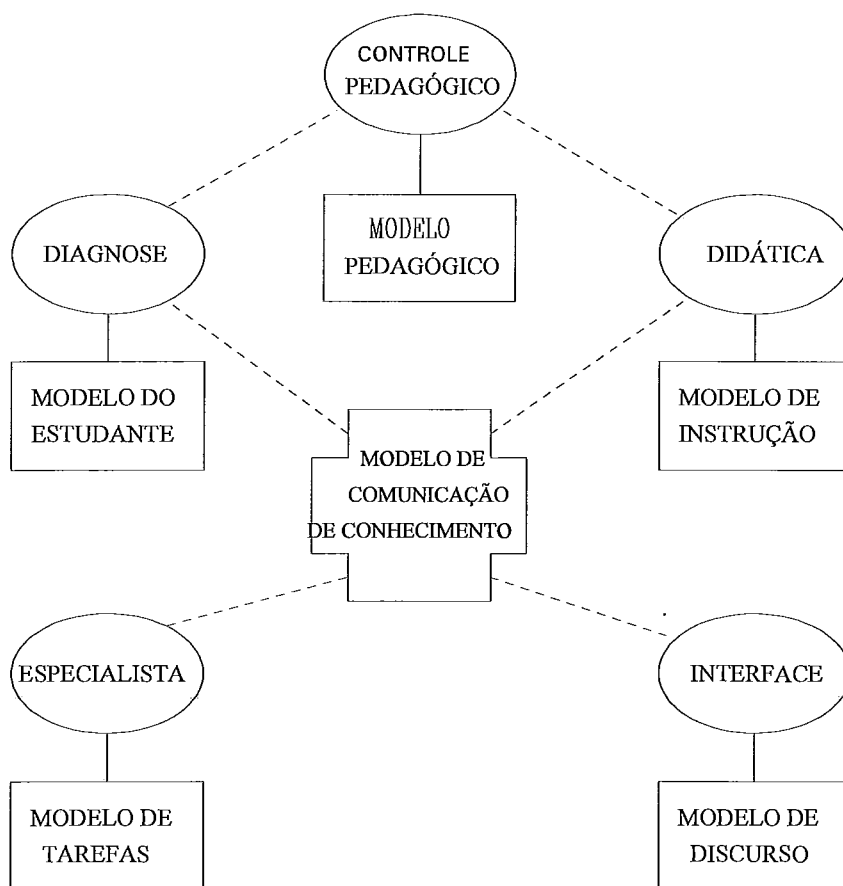


Figura 6: Estrutura básica de sistema de comunicação de conhecimento [Weng87]

2.3.3 Descrição dos Componentes

A apresentação na seção anterior de diversas arquiteturas evidencia similaridades entre eles e sugere a existência de funções que são exercidas em tutores inteligentes, independente da estrutura. Evidenciamos as seguintes funções: controle, modelagem do aluno, modelagem instrucional, modelagem de tarefas e interface.

2.3.3.1 Controle

O controle também é conhecido como controle pedagógico. O controle ativa registros das decisões estratégicas globais e atualiza contextos resultantes da aplicação dessas estratégias [Weng87]. Esse módulo apresenta duas funções básicas: o *diagnóstico* e a *didática*. O diagnóstico procura resolver a questão básica que é saber em que estado de conhecimento está o aluno e/ou quais são os entraves para que ele evolua. O método de diagnóstico é o procedimento responsável por analisar os fatos necessários à construção e manutenção do modelo do aluno. A didática, partindo do diagnóstico, prevê o uso adequado dos recursos para a superação dos degraus instrucionais.

2.3.3.2 Modelo do Aluno

O modelo do aluno ou modelo do estudante está associado com a imagem que o tutor inteligente tem do aluno. O modelo do aluno é sempre qualitativo [Weng87] [Vicc90]. Pode ser descritivo ou simulativo, ou uma combinação dos dois.

A modelagem do estudante, representada formalmente por alguma estrutura externa ao programa, permite aos sistemas tutoriais inteligentes monitorar o progresso e o desenvolvimento de um estudante, analisar suas respostas e formar uma imagem de sua compreensão do conteúdo instrucional [Sarm90].

O primeiro modelo a surgir foi o *modelo diferencial*, depois surgiram os *modelos overlay*, *de perturbação* e *de crenças*. O modelo diferencial caracteriza-se por comparar a resposta do aluno com a resposta de um especialista [Burt82]. Nos modelos overlay e de perturbação, o modelo de domínio do aluno é representado em relação à base de conhecimentos do domínio [Vicc92]. Isto é mostrado na figura 7.

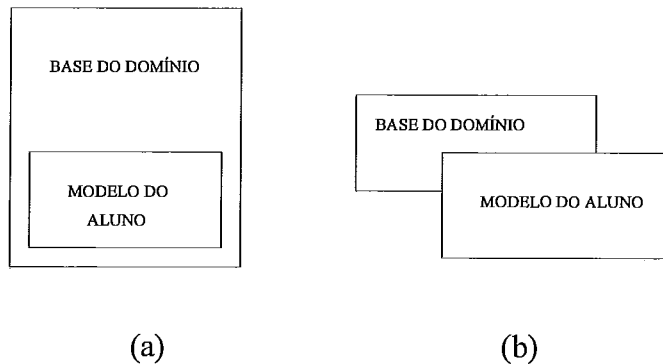


Figura 7: Os modelos overlay(a) e de perturbação(b) [Vicc92]

Os erros no modelo overlay são creditados à *ausência* de alguma informação presente na base de domínio. Nos modelos de perturbação pressupõe-se que os erros originam-se da *presença de concepções incorretas* por parte do aluno [Vicc92]. Existe, no modelo de perturbação, além da base de domínio, uma biblioteca de erros típicos.

O modelo overlay originou-se no tutor inteligente WUSOR-II (jogo educativo, Goldstein, 1982). Esse modelo é uma evolução do modelo diferencial e é aplicável quando o conhecimento do especialista pode ser expresso como um conjunto de regras. O conhecimento do aluno no modelo overlay é representado por subconjunto da base de conhecimento do sistema tutor [Vicc92]. Os erros dos alunos são assumidos pela *falta* de algum conhecimento ou conceito [Vicc92]. A simplicidade desse modelo é uma característica que favorece sua utilização [Nune93]. Essa abordagem é útil em domínios cujo aprendizado assistido e dirigido é a estratégia apropriada [Bert94]. Bertels aponta

que uma limitação desse modelo ocorre quando a solução do aluno difere grandemente da solução do especialista [Bert94].

O modelo de perturbação, também chamado modelo buggy, teve origem no tutor BUGGY (ensino de aritmética, Burton, 1977). O modelo de perturbação é conhecido por este nome por relacionar o conhecimento do aluno como uma perturbação do conhecimento especialista [Bert94]. Os erros dos alunos são assumidos pela *concepção errônea* de algum conceito [Vicc92]. O modelo do aluno consiste de um modelo especialista e uma lista de concepções errôneas e concepções esquecidas. Uma crítica que se faz ao modelo de perturbação é que não é possível para um domínio complexo prever-se todas as concepções incorretas do aluno [Laur93].

Uma nova abordagem, além dos modelos overlay e de perturbação, é a *modelagem por crenças*. Na modelagem por crenças, o modelo do aluno consiste em um conjunto de crenças refletindo o grau que pensamos que o estudante entende sobre um conceito particular [Vicc92] [Clar93]. Outra novidade é a representação do modelo do aluno por *regras fuzzy* [Pana93].

Os atuais modelos de alunos são dependentes do domínio do assunto abordado, sendo, portanto, não reutilizáveis por outro software. Uma tendência de pesquisa atual é o projeto de modelos de alunos que sejam independentes do domínio e que possam ser úteis para outros sistemas tutores inteligentes [Lian90].

A modelagem do aluno é um ponto fundamental em sistemas tutores inteligentes. Uma característica central de um sistema tutorial inteligente, que o distingue de um software educativo tradicional, é a capacidade de construir e modificar dinamicamente o modelo do aluno à medida em que o estudante vai adquirindo conhecimento [Giso90]. Essa tarefa realizada em tempo real é o aspecto mais importante na eficácia de um tutor inteligente [Macc92].

2.3.3.3 Modelo Instrucional

O modelo instrucional também é chamado modelo do instrutor. A função do modelo instrucional é suportar tomadas de decisões instrucionais durante a interação de aprendizagem [Good90].

O modelo instrucional é mantido pelo controle e registra aspectos importantes da interação instrucional com o estudante, tais como tópicos que devem ser cobertos ou explicações que devem ser dadas, evitando repetições e permitindo lembretes [Weng87].

Em geral, o modelo instrucional é mais que um registro seqüencial de atividades, pois contém os objetivos a serem alcançados, bem como os planos que são utilizados para atingir determinados objetivos.

2.3.3.4 Modelo de Tarefas

O modelo de tarefas está associado a uma base de conhecimentos no domínio que possibilita a resolução de problemas. Além de ter acesso às respostas finais das questões, o modelo de tarefas capta informações sobre as circunstâncias em que o problema é colocado. Por exemplo, no GUIDON são considerados quais os sintomas que são conhecidos pelo aluno a fim de que ele avalie hipóteses.

2.3.3.5 Interface

A interface é a forma de comunicação aluno-computador. A interface exerce duas funções principais: a apresentação do material instrucional e a monitoração do progresso do aluno [Oliv93].

Outras funções da interface são a interpretação da semântica da linguagem utilizada pelo aluno e a realização efetiva da comunicação programa-aluno. Esta é uma das tarefas mais complexas ao se implementar um tutor inteligente; normalmente usa-se uma linguagem limitada, e, freqüentemente, são utilizadas expressões padronizadas para dinamizar esta comunicação. Cabe à interface dar forma final ao que o modelo pedagógico decide, analisando a oportunidade e o conteúdo das ações didáticas [Weng87]. A interface trabalha numa direção dupla entre as representações internas do sistema e a linguagem de interface inteligível pelo estudante.

A comunicação interativa entre computadores e usuários em um sistema de informação computadorizado é geralmente muito estreita e inflexível [Moor90]. Os pesquisadores vem construindo interfaces em linguagem natural para suportar *diálogos de iniciativa mista* entre estudantes e computadores, onde ambos tem igual chance de redirecionar o diálogo e introduzir novas idéias [Sarm90]. Uma comunicação natural razoável pode ocorrer sem o uso de linguagem natural, através do emprego de menus, recursos gráficos e processamento linguístico limitado [Van194].

2.3.4 Tutores Inteligentes

2.3.4.1 Definição

Utilizamos para os tutores inteligentes as mesmas definições empregadas para sistemas tutores inteligentes descritos na seção 2.3.1.

2.3.4.2 Exemplos de Tutores Inteligentes

Nesta seção faremos uma breve descrição de três tutores inteligentes: SCHOLAR, GUIDON e WHY.

2.3.4.2.1 SCHOLAR

O SCHOLAR, desenvolvido por Carbonell em 1970, foi a primeira tentativa de se usar representações de IA como uma base aos programas de ensino [Clan87a]. Esse tutor versava sobre a geografia da América do Sul, e o conhecimento era representado por uma rede semântica [Weng87]. Os conceitos eram armazenados sob a forma de superconceitos e instanciações [Clan87a]. A interação com o aluno se dava através de diálogos de iniciativa mista (vide figura 8), suportados por um analisador gramático de rede de transição.

SCHOLAR: Aprox what is the area of Brazil?
Student: 2,500,000 square miles
SCHOLAR: Wrong. Please indicate if the following statement is correct: the area of Paraguay is aprox 47,432 square miles.
Student: What is the area of Brazil?
SCHOLAR: The area of Brazil is aprox 3,600,000 square miles. Now answer the question you didn't answer before.
Student: False.
SCHOLAR: Rephrase your statement. I can't understand it.
Student: Incorrect.
SCHOLAR: Very good. The area of Paraguay is aprox 157,000 square miles. The language in Brazil is French. Right or wrong?

Figura 8: Excerto de um diálogo com SCHOLAR [Weng87]

Carbonell tinha a opinião de que mais importante do que as perguntas que o sistema fazia ao aluno, eram as perguntas que o aluno fazia ao sistema. A tarefa de colocar a estrutura de conhecimento e definir as estratégias de ensino é desafiadora e instrutiva, na concepção de Carbonell [Weng87].

A modelagem do aluno por conhecimentos incompletos (mais tarde conhecida como *modelo diferencial* ou *de overlay*) foi uma das principais contribuições de Carbonell [Lima92]. Segundo Lima, contudo, o SCHOLAR não interpretava uma boa modelagem do aluno e era incapaz de diagnosticar as respostas errôneas dos alunos.

Um dos últimos desenvolvimentos, realizado por Collins, capacitou o SCHOLAR a responder questões que não estavam armazenadas na base de conhecimentos [Barr82] [Clan87a]. A intenção básica era dotar o SCHOLAR de habilidade metacognitiva, sendo capaz de discernir o que é verdadeiro, mesmo tendo um conhecimento reduzido sobre uma determinada situação.

Nos excertos de diálogos do SCHOLAR encontrados em Clancey [Clan87a], O'Shea [O'Sh83] e Wenger [Weng87], apresentado na figura 11, além da iniciativa mista, evidenciam-se algumas características que dinamizam o diálogo como a possibilidade de fazer perguntas dentro de perguntas, a apresentação eventual de opções de respostas ao aluno e a estipulação de um prazo para a resposta do aluno (temporização da resposta). O SCHOLAR também considerava respostas corretas mesmo quando apresentavam pequenos erros ortográficos e quando a resposta envolvia números e o aluno declarava o valor dentro de certa aproximação. Estas capacidades de diálogo do SCHOLAR são muito próximas dos diálogos coloquiais entre tutor e aluno. Os aspectos pioneiros do SCHOLAR influenciaram vários tutores inteligentes, como o GUIDON, por exemplo [Buch85].

2.3.4.2.2 GUIDON

O GUIDON foi elaborado na Universidade de Stanford na década de 70, por uma equipe multidisciplinar composta de médicos e especialistas em computação [Buch85]. Shortliffe inspirou-se nos diálogos de iniciativa mista do SCHOLAR para produzir os diálogos de consulta do MYCIN [Clan87b]. Com o ingresso de Clancey e Buchanan na

equipe do MYCIN, decidiu-se desenvolver um tutor inteligente, posteriormente designado GUIDON.

Dentre os sistemas especialistas, o MYCIN - voltado para o diagnóstico de doenças infecciosas e suas terapias - é uma das maiores e melhor sucedidas experiências [Buch85]. O MYCIN era dotado da capacidade de explicar o *como* e o *porquê* se chegou a determinado diagnóstico, apontando as regras que foram usadas, fato que motivaria médicos e alunos a aprenderem sobre o assunto [Buch82] [Clan87a]. O GUIDON inicialmente compartilha a base de conhecimento do MYCIN (vide figura 9), exemplificando o que se convencionou chamar de *transferência de habilidade*.

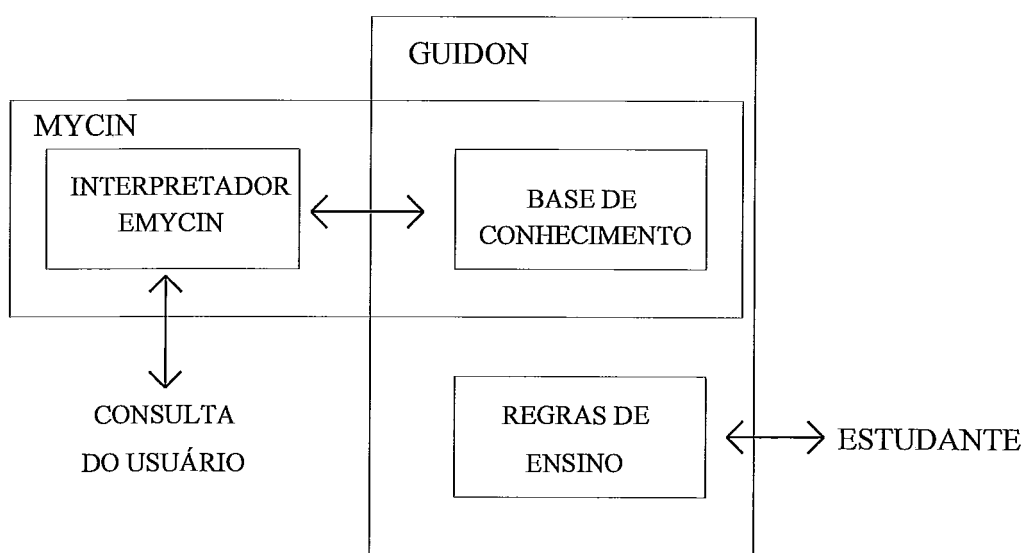


Figura 9: Relação entre o MYCIN e o GUIDON [Clan87a]

Utilizando o estudo de caso - uma variação do modelo tutorial socrático - como cenário de aprendizado, o GUIDON, na sua versão original, engaja o estudante num diálogo sobre um paciente suspeito de ter uma infecção [Barr82]. O GUIDON introduziu

a *tutoração oportunística*, uma tentativa de apresentar novas informações para o aluno, aproveitando as oportunidades que aparecem em cada situação [Clan87a]. A figura 10 apresenta um exemplo de diálogo do GUIDON.

We must now determine whether the shape of the floor section (SUB-STRUCTURE-1) is one of the surface shapes.

Here is some relevant data you could have asked for : the geometry of the floor section is planar , the modelling dimensionality of the floor section is 2 , and continuum is one of the constructions of the floor section.

What does this tell you about the shape of the floor section ?
**** HELP**

Can you conclude that the shape of the floor section is (select one of the following):

- 1) beam - suggestive evidence (.62)*
- 2) semimonococque - suggestive evidence (.62)*
- 3) not shell - strongly suggestive evidence (-.95)*
- 4) plate - with certainty (1.0)*

**** 4**

Yes, that's right (see RULE100).

Figura 10: Excerto do tutorial do GUIDON usando a base de conhecimento do SACON [Clan87b]

O GUIDON apresenta uma completa separação entre as regras do domínio de conhecimento específico do conhecimento pedagógico, que é declarado sob a forma de *t-rules* (regras de tutoração), conforme é mostrado na figura 11 [Clan87a]. Esta separação possibilitou a experimentação de várias estratégias de ensino e fez com que o GUIDON fosse facilmente adaptável a outros domínios [Weng87]. Segundo Barr e Feigenbaum o

GUIDON apresenta uma limitação que é a de avaliar as respostas do aluno apenas em termos de regras do MYCIN [Barr82].

T-RULE 5.02 Declara diretamente regra simples, conhecida

SE 1) Há regras relacionadas com este objetivo que foram sucedidas e não foram discutidas, e
 2) O número de regras relacionadas com este objetivo que foram sucedidas é 1, e
 3) Há uma forte evidência de que o estudante aplicou esta regra

ENTÃO Simplesmente declare a regra e sua conclusão

Figura 11: T-rule para decidir como completar decisão de um tópico [Barr82]

2.3.4.2.3 WHY

O tutor inteligente WHY, desenvolvido por Collins e Stevens, em 1980, tem como domínio a meteorologia, tratando do estudo de chuvas [Weng87]. O WHY trabalha com o raciocínio causal em oposição ao raciocínio factual, utilizado pelo SCHOLAR. Esse tutor apresenta o método socrático ensinando através de diálogos, utilizando *contra-exemplos* toda vez que o aluno apresenta uma generalização incorreta [Weng87]. O conhecimento sobre chuvas é armazenado sob a forma de roteiros [Clan87a].

Apresentamos na figura 12 um diálogo simples do WHY.

.
.
.
WHY: Do you think the Amazon jungle has heavy rainfall or light rainfall?
Student: Heavy rainfall
WHY: Why does the Amazon have heavy rainfall?
Student: Because it's near Atlantic
WHY: Yes, the Amazon jungle is near the equatorial Atlantic. How does that affect rainfall in the Amazon jungle?
.
.
.
WHY: Do you think that any place with mountains has heavy rainfall?
Student: Yes
WHY: Southern California has mountains. Why doesn't Southern California have heavy rainfall?
.
.
.

Figura 12: Excerto de um diálogo com WHY [Weng87]

O WHY utiliza um plano de tutoração, elaborado por Collins e Stevens, que detecta os fatos que o estudante parece não entender [Clan87a]. A principal contribuição do WHY foi a enumeração dos erros do raciocínio causal.

Wenger [Weng87] aponta duas debilidades no sistema WHY: a) os objetivos tutoriais normalmente perseguidos por tutores humanos, tais como a correção de conceitos errôneos difundidos entre os alunos, são ignorados, e, b) a representação baseada em roteiros não é suficiente para explicar os mecanismos envolvidos nas chuvas ou para diagnosticar e corrigir as falsas concepções do estudante.

2.3.5 Assistentes Inteligentes

2.3.5.1 Definição

Assistente inteligente é um programa que ajuda alguém a realizar uma tarefa. Assistente inteligente aparece na literatura, também, com o nome de *consultor on-line*, *sistema assistente*, *tutor inteligente com orientação* e, ainda, *sistema de ajuda inteligente*.

Clancey [Clan87a], reproduzindo Goldstein, descreve a forma de atuar de assistentes inteligentes: "assistente é alguém que olha e não interfere constantemente, mas sustenta as linhas gerais e possibilita alguém prosseguir o jogo; depois, talvez, quando alguém pede por ajuda ou em um momento crucial do jogo, o assistente interrompe e menciona uma lição importante".

Dede [Soko91] assinala a distinção entre tutor inteligente e assistente inteligente:

“...a assistência é um dispositivo projetado para o processo de desenvolvimento de habilidades em situações de aprender fazendo, enquanto o tutor provê uma abordagem compromissada com a geração de um conhecimento descritivo”.

Nos diálogos de iniciativa mista, utilizado por alguns tutores inteligentes, os alunos têm o controle completo das atividades. No caso dos assistentes inteligentes, o problema de responder corretamente ao estudante é suplantado pela escolha da interrupção adequada no tempo certo e com os comentários corretos [Burt82]. Wenger aponta esta diferença como importante na forma de atuar entre assistentes inteligentes e tutores inteligentes [Weng87].

O uso de assistentes inteligentes baseia-se numa estratégia pedagógica não-intrusiva, cuja idéia central é permitir que as pessoas possam resolver problemas e agir por si próprias. Uma interrupção não daria a elas a oportunidade de desenvolver

habilidades para monitorar seus próprios problemas de solução, tais como a capacidade de detectar e retornar de falsos começos [Clan87a].

Segundo Falcão [Falc91], os assistentes inteligentes procuram combinar a experiência e conhecimento acumulados em um determinado assunto com as técnicas de Inteligência Artificial. Isso possibilita a interação inteligente entre o assistente e o usuário.

Alguns assistentes inteligentes possuem as funções duplas de assistente e tutor, permitindo maior flexibilidade na escolha de estratégias de ensino. Encontramos jogos educacionais desenvolvidos sob a forma de assistentes inteligentes, como o WEST e WUSOR [Weng87]. Alguns assistentes inteligentes são voltados para apoio a *ambientes de desenvolvimento de sistemas* (ADS), como o Assistente de Projeto e Análise Estruturada [Falc92].

2.3.5.2 Exemplos de Assistentes Inteligentes

Nesta seção faremos uma breve descrição de três assistentes inteligentes: MACSYMA ADVISOR, Assistente de Análise e Projeto Estruturado e o WEST.

2.3.5.2.1 MACSYMA ADVISOR

MACSYMA ADVISOR, desenvolvido em 1977 por Michael Genesereth, é definido como um consultor on-line do sistema de manipulação matemática MACSYMA [Weng87]. O MACSYMA trabalha na simplificação e combinação de equações algébricas.

O MACSYMA ADVISOR extrai o plano do usuário, entendendo a sequência de ações do estudante [Clan87a]. O MACSYMA ADVISOR tem a capacidade de gerar as concepções errôneas do estudante pela análise do plano de solução utilizado pelo mesmo

[Clan87a]. Apresentamos na figura 13 um excerto de uma consulta do MACSYMA ADVISOR.

MACSYMA: X2 - Z(X+XY-YZ)
User: (A:COEFF(D6,X,2); B:COEFF(D6,X,1),C:COEFF(D6,X,0))
MACSYMA: 0
User: Help
User: I was trying to solve D6 for X, and I got 0.
User: Yes, doesn't it?
ADVISOR: Did you expect COEFF to return the coefficient of D6?
COEFF(Expression, Variable, Power) returns the
correct coefficient of Variable Power only if
Expression is expanded with respect Variable.
Perhaps you should use RATCOEFF.

User: Ok, thanks. Bye.

Figura 13: Uma consulta com o MACSYMA ADVISOR [Weng87]

A reconstrução do plano do aluno é a maior colaboração do MACSYMA ADVISOR pois até então as concepções errôneas eram pré-enumeradas. A figura 14 mostra um plano gerado pelo MACSYMA ADVISOR.

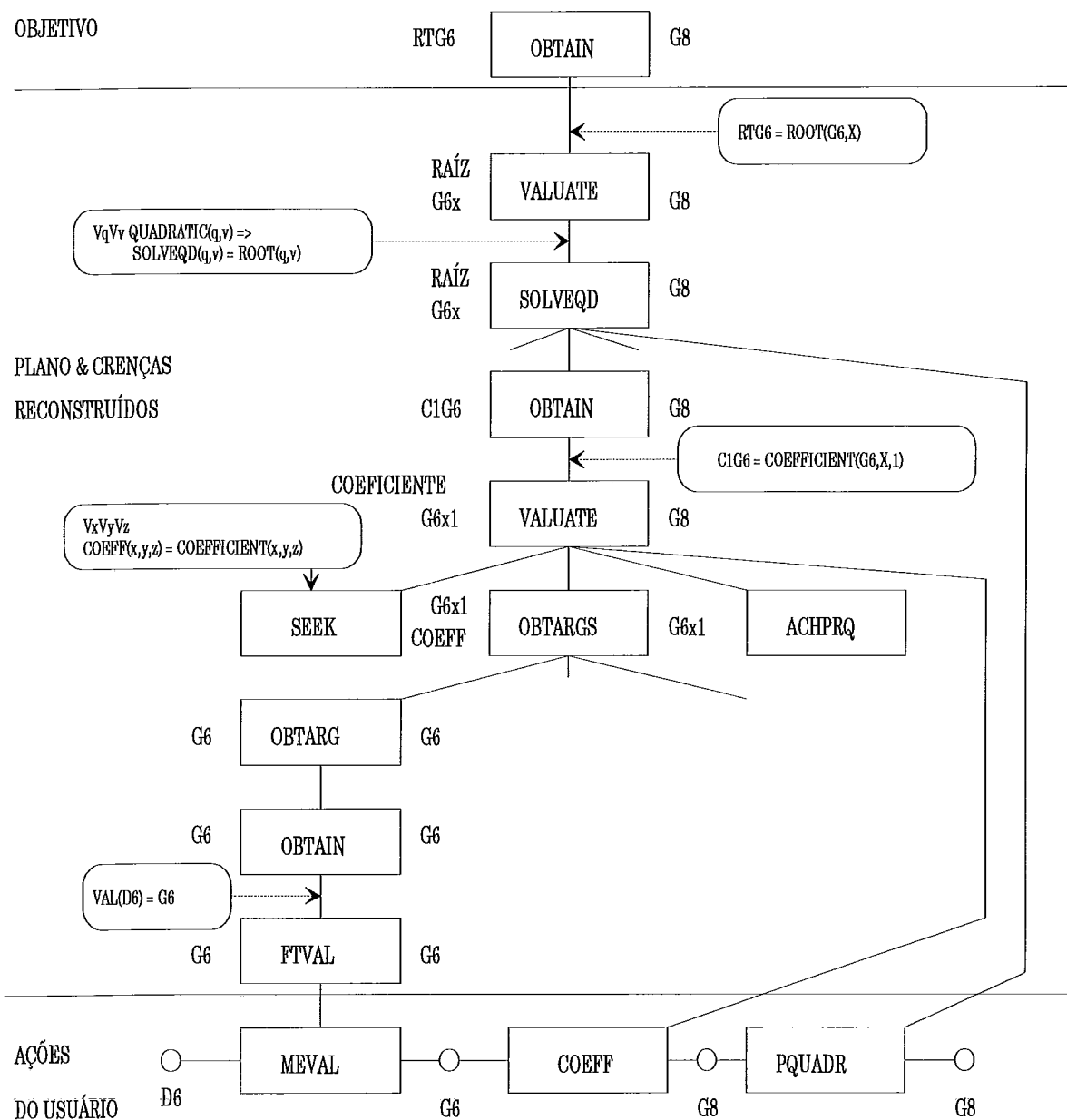


Figura 14: Reconstrução de plano gerado pelo MACSYMA ADVISOR [C1an87a]

2.3.5.2.2 Assistente de Análise e Projeto Estruturado

Falcão [Falc92] desenvolveu em 1992 um assistente inteligente, com função dupla de assistente e tutor, voltado para apoio a ambientes de desenvolvimento de software. Esse assistente inteligente foi projetado dentro do contexto do Projeto TABA [Roch90], que objetiva a construção de uma estação de trabalho configurável para o desenvolvimento de software, especificando e gerando ambientes adequados às características dos produtos a serem desenvolvidos.

A modelagem do usuário é feita pelo método diferencial. O Assistente de Análise e Projeto Estruturado analisa as ações dos usuários pelo *reconhecedor de planos* com intuito de identificar *questões* e *planos* envolvidos.

O Assistente de Análise e Projeto Estruturado trabalha em quatro modos distintos: *modo orientador*, *modo especialista*, *modo tutor* e *modo meta-usuário*. Descrevemos a seguir os dois modos que interagem com o usuário apresentando aspectos de ensino/aprendizagem.

No modo orientador, o assistente inteligente comunica-se com o usuário do ambiente, toda vez que este manifesta algum conceito errôneo ou utiliza uma estratégia menos adequada no contexto da atividade. No modo tutor, o assistente inteligente representa o processo de ensino dos conteúdos do modelo ideal, na qual o iniciante aprende a utilização da ferramenta, ao nível do domínio de aplicação. O usuário pode solicitar a transferência para o modo tutor, caso encontre muitas dificuldades. O assistente inteligente pode, também, ativar o modo tutor se perceber que o usuário é repetitivo em seus erros, ou que este fornece informações fora do contexto, por exemplo.

2.3.5.2.3 WEST

O assistente inteligente WEST foi desenvolvido por Burton e Brown em 1979, sob a forma de um jogo educacional voltado a exercitar habilidades aritméticas. O WEST, baseou-se num jogo originalmente desenvolvido com o nome "*How the West was Won*"

do projeto PLATO [Weng87]. O objetivo do jogo é levar uma carruagem de uma cidade a outra (vide figura 15).

locomotive's turn:

Your numbers: 3 2 2

Your move >

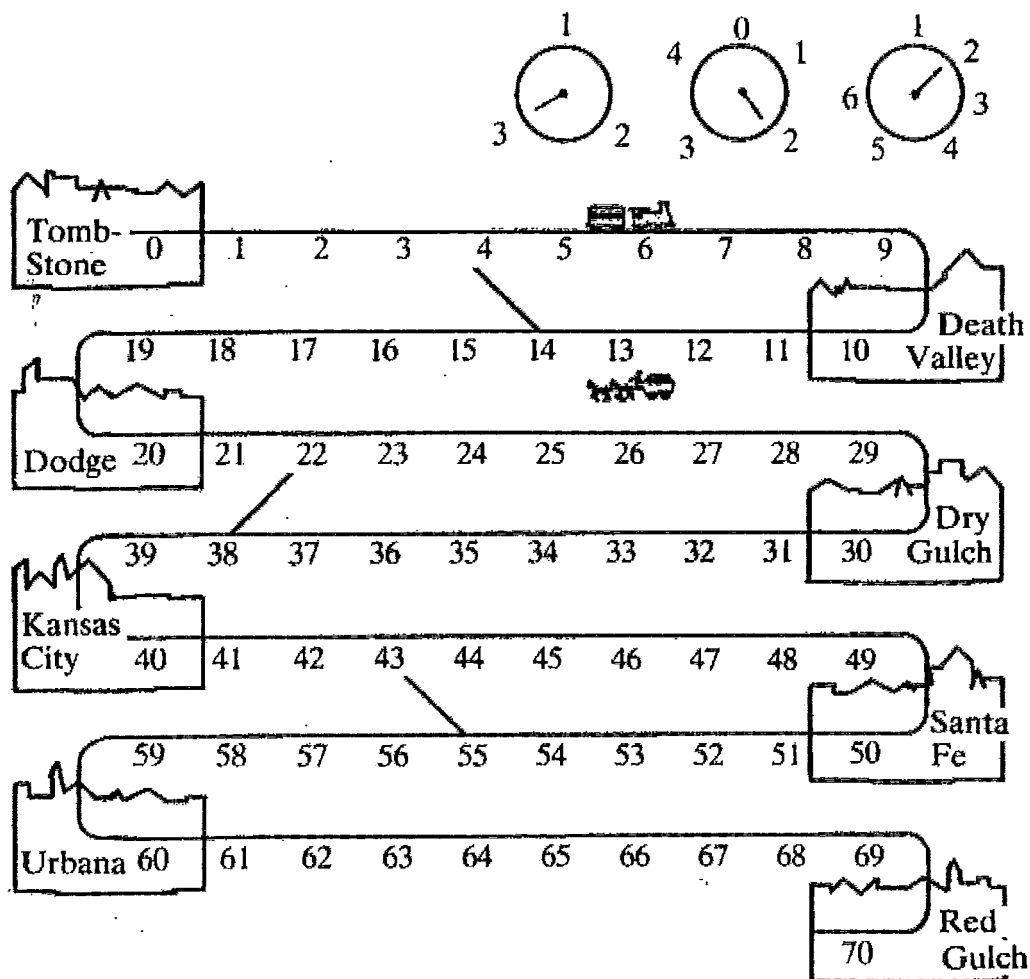


Figura 15: O jogo WEST [Weng87]

Foram desenvolvidas várias versões desse jogo. A idéia principal é fazer com que a carruagem avance respondendo-se à perguntas sob a forma de expressões aritméticas e, em caso de erro, ocorrem recuos. O assistente age dando indicações para o aluno, conforme pode ser constatado no diálogo da figura 16.

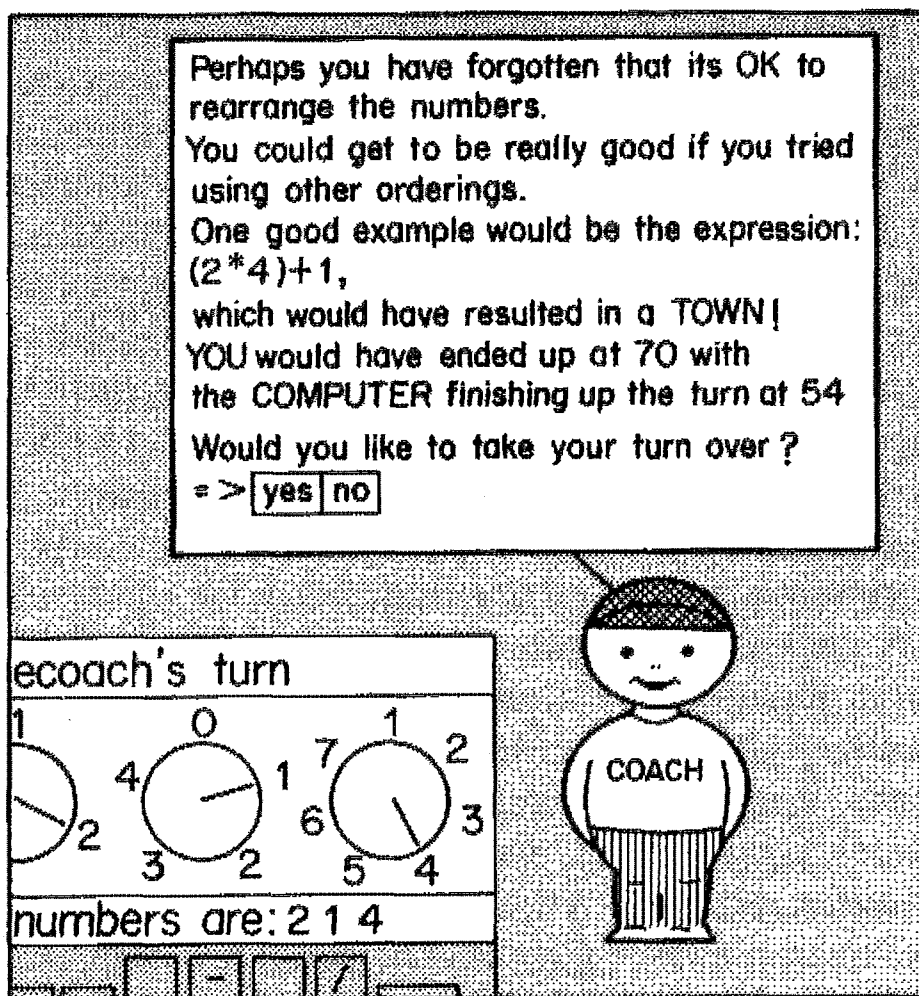


Figura 16: Exemplo de assistência pelo WEST [Clan87a]

A motivação de se escolher ambientes de jogos baseia-se na sua simplicidade conceitual e valor motivacional, podendo os princípios serem aplicáveis a outra atividade de aprendizado [Burt82]. O projeto sofreu influência do construtivismo, considerando-se durante o desenrolar do jogo a existência de *erros construtivos* e *erros não-construtivos*. Burton e Brown consideram que o erro é construtivo quando o estudante tem informação suficiente para determinar o que causou o erro, podendo corrigí-lo e em caso contrário, não-construtivo [Burt82]. Seguindo essa linha esses pesquisadores propõem que uma importante função nos ambientes de aprendizagem é a identificação dos graus em que os

erros do aluno são construtivos, constituindo uma das maiores tarefas dos assistentes fornecer informações adicionais que permitam transformar erros não-construtivos em erros construtivos. A arquitetura do WEST é mostrada na figura 17.

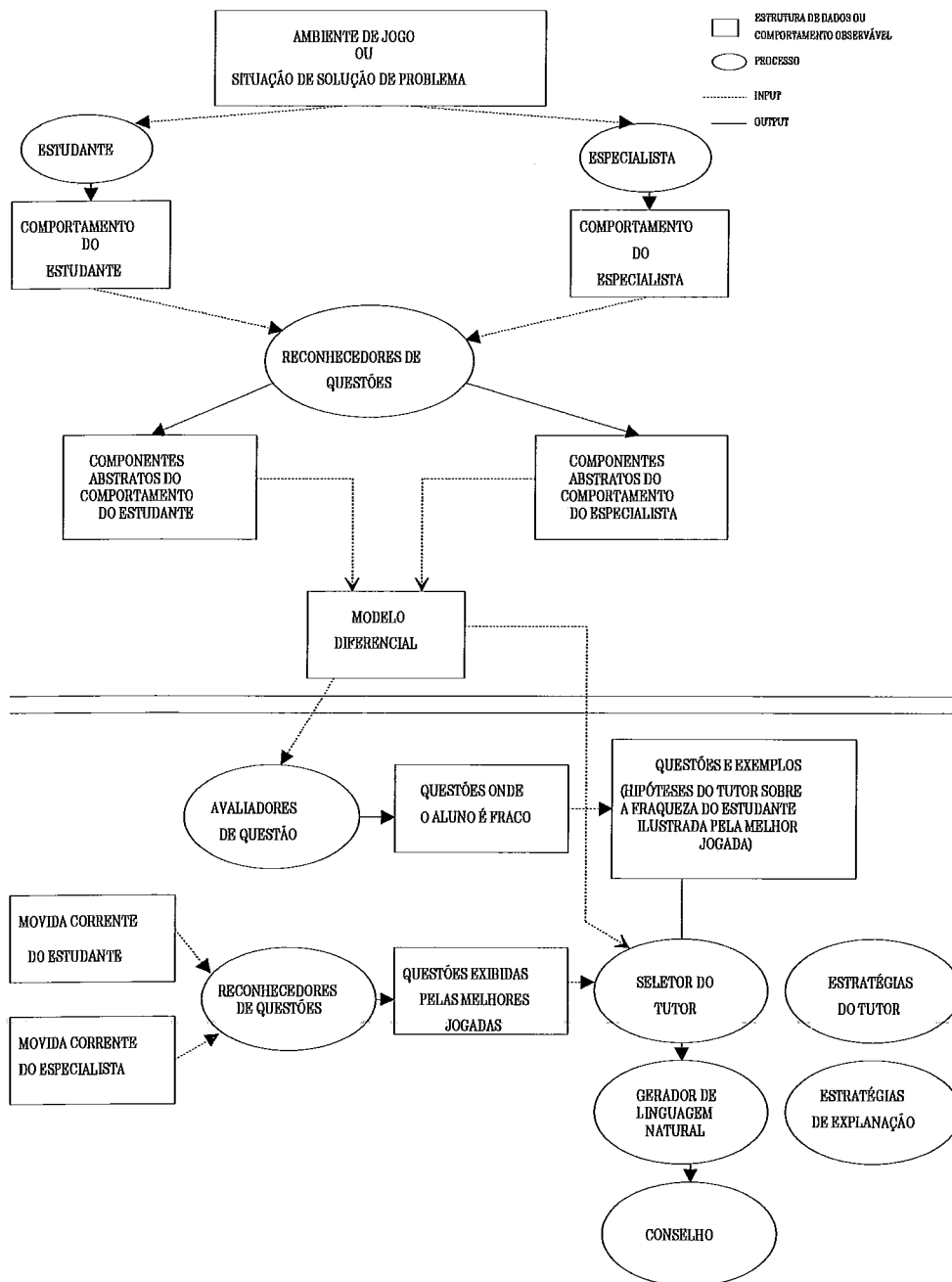


Figura 17: Arquitetura do assistente inteligente WEST [Burt82]

O WEST empregava o modelo diferencial. No WEST utilizou-se o princípio do ajuste do nível de jogo para tornar as partidas mais interessantes para o aluno [Brow82]. Nesse trabalho foram definidos princípios de assistências como, por exemplo:

Princípio 1: Antes de dar uma sugestão, esteja certo de que a Questão usada é uma na qual o aluno é fraco

Princípio 2: Quando ilustrar uma Questão, use somente um Exemplo (uma movida alternativa) no qual o resultado ou consequência da jogada seja dramaticamente superior à jogada feita pelo estudante.

Importantes contribuições foram dadas pelo WEST como o paradigma de questões e exemplos, a implementação de níveis de assistência, a definição de princípios que possam ser utilizados em assistentes inteligentes e o modelo diferencial

2.3.6 Cenários de Aprendizagem em um Tutor Inteligente

Cenários de aprendizagem são categorias citadas por Clancey para focalizar como os tutores inteligentes usam o conhecimento na interação com os alunos, representando diferentes estratégias pedagógicas [Clan87a]. Descrevemos, também, o paradigma questões e exemplos, proposto por Burton e Brown [Brow82].

Apresentamos os cenários de aprendizagem mais comuns: *Método Socrático*, *Ambiente Reativo*, *Aprender Fazendo* e *Questões e Exemplos*.

- Método Socrático:

O método socrático, também conhecido como modelo tutorial socrático, prevê situações de diálogo a partir de um fato conhecido pelo aluno, levando-o a aperfeiçoar este conceito através da exploração de contradições e da formulação de inferências corretas a partir do conhecimento inicial [Vicc90].

Uma variação do modelo tutorial socrático é o chamado *estudo de caso* [Weng87], utilizado principalmente nos tutores inteligentes voltados para a área médica [Buch85]. O estudo de caso, basicamente, simula o procedimento utilizado por médicos para realizar diagnósticos, onde se alternam provas e contraprovas de uma determinada hipótese, até se provar sua adequabilidade ou não e, nesse caso, então, se escolher outra mais apropriada, chegando-se, através deste processo, a um diagnóstico final.

Vários tutores inteligentes usam o método socrático ou o estudo de caso, sua variação. Entre eles citamos o GUIDON e o WHY, descritos na seção 2.3.4.2.2 e 2.3.4.2.3.

- Ambiente Reativo:

O estudante soluciona um problema, mas o programa não interrompe. O programa interage com o estudante e dá um retorno [Clan87a]. A idéia básica é explorar os pontos-de-vista dos alunos e demonstrar novos pontos de vista conceitualmente superiores. Wenger, seguindo Brown e Burton, sugere que sistemas tutoriais baseados em computadores podem ter um poder incomum de engajar e alavancar o estado de conhecimento do aluno [Weng87].

O ambiente reativo é utilizado no tutor inteligente SOPHIE [Weng87] [Clan87a].

- Aprender Fazendo:

Neste cenário, o professor (ou tutor) contribui ativamente, verificando se o estudante está fazendo progresso e verificando seu entendimento. Posteriormente apresenta problemas apropriados e auxilia o aluno na solução [Clan87a]. Segundo Brown e Sleeman, aprender fazendo se realiza através da transformação do conhecimento factual em conhecimento experimental, combinando a experiência na solução de problemas e o aprendizado pela motivação da descoberta com a orientação efetiva das interações do tutor [Brow82].

O GUIDON utiliza o cenário de aprendizagem Aprender Fazendo [Clan87a].

- Questões e Exemplos

Questões e exemplos foi proposto inicialmente por Burton e Brown e utilizado no assistente inteligente WEST [Burt82]. A característica desse paradigma é ser voltado para jogos e organizar o conhecimento como um conjunto de questões, que são

apresentadas ao estudante como sendo relevantes para o jogo, intercalados com exemplos concretos [Weng87].

2.3.7 Características de um Tutor Inteligente

Para Oliveira [Oliv88] alguns requisitos desejáveis de um tutor inteligente são:

- o tutor faz com que as heurísticas de solução de problemas do usuário convirjam para as dele;
- o tutor deve aprender e adotar métodos de solução do usuário se eles forem superiores aos seus;
- o tutor escolhe exemplos e problemas apropriados para o usuário;
- quando o usuário precisa de ajuda, o tutor pode recomendar esquemas de solução e demonstrar como aplicar técnicas;
- o tutor pode apresentar exemplos arbitrários escolhidos pelo usuário;
- o tutor está apto a adaptar-se a diferentes níveis de conhecimento dos usuários;
- o tutor está apto a medir o progresso dos usuários;
- o tutor pode rever com o usuário o material aprendido quando surge a necessidade;
- o tutor deverá apontar imediatamente os erros quando estes surgirem, enquanto permite ao usuário decidir livremente como resolver um problema;
- após o usuário resolver um problema, o tutor pode mostrar soluções mais diretas que utilizem técnicas ou teoremas aprendidos mais recentemente.

Segundo Viccari e Mousalle [Vicc90] um tutor inteligente deve apresentar as seguintes características gerais:

- 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;
- ter metachecimento para resolver situações não previstas 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 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;
- ter capacidade para reconstituir estados passados.

Na opinião de Viccari e Mousalle, através da utilização de vários recursos oferecidos pela Inteligência Artificial pode-se chegar a tutores inteligentes dotados de tais características [Vicc90].

Além das características acima citadas, propomos alguns cuidados suplementares, voltados para a utilização de tutores inteligentes:

- o sistema deve se assegurar que o aluno possui uma base mínima de conhecimento que permita ao mesmo a sua utilização;
- as interferências externas colaboram na interação do aluno com o sistema;
- a capacidade individual do aluno não regride, contudo, é possível haver pequenas involuções (tais como esquecimentos e enganos); o sistema deve tomar as medidas adequadas, para superar estes impasses;

- existem fatores motivadores que incentivam o aluno à utilização do sistema;
- o sistema deve ter mecanismos que impeçam que fatores como o acerto casual influencie em suas avaliações;
- o sistema avalie o momento em que o aluno atingiu um ponto de domínio do conhecimento e das técnicas empregadas em que se faz desnecessária sua utilização;
- o escopo do assunto abordado, a linguagem usada na interface e as técnicas e graus das instruções devem ser ajustadas à faixa etária dos alunos que o utilizarão.

2.3.8 Ciclo de Tutoração

O *ciclo de tutoração* representa a interação básica entre o tutor e o aluno. O ciclo de tutoração aceita uma resposta do aluno, compara a ação do estudante com a ação proposta pelo programa especialista, modela o estudante, diagnostica o estado mental do aluno, alimenta esta informação ao programa especialista de tutoração, executa o programa de tutoração, e apresenta as melhores conjecturas do programa para a próxima interação [Cava91].

Este ciclo é mostrado na figura 18:



Figura 18: Ciclo de tutoração [Cava91]

A apresentação da melhor interação com o estudante poderá ser feita através de uma *remediação imediata* ou por *remediação posterior*. Na *remediação imediata*, a correção do erro do estudante é executada em seguida; na *remediação posterior*, o tutor posterga a apresentação da solução correta. A *remediação posterior* representa uma negociação entre o tutor e o aluno. Ante uma resposta errada, o tutor procura explorar o tema, postergando a apresentação da resposta correta. São utilizados vários recursos (dilatação do tempo de resposta, apresentação de um problema mais simples, rememoração) para que o aluno encontre a solução do problema.

A *remediação imediata* é ativada quando um erro é encontrado no manuseio de um conceito básico e acredita-se que isso irá ocasionar maiores imprecisões se não for sanado imediatamente. A *remediação posterior* é adequada para estimular o aluno a se superar e encontrar a solução do problema proposto. A escolha de uma estratégia de *remediação* é uma característica de projeto que deve levar em conta diversos fatores como o estado de conhecimento do aluno e o contexto em que se apresenta o erro.

2.3.9 A Utilização dos Sistemas Tutoriais Inteligentes

Nesta seção faremos um breve relato de como tem sido usados sistemas tutoriais inteligentes. A idéia básica é termos uma diretriz para elaborarmos ou não um tutor ou assistente inteligente para um determinado assunto.

Encontramos sistemas tutoriais inteligentes abordando várias áreas: apoio a programação (SPADE, Tutor PROLOG); ensino de matemática e áreas afins (ACM, BLOCKS); ensino de geografia, meteorologia e áreas afins (GEO, WHY); aplicações médicas (GUIDON, PUFF); e ensino ou capacitação em determinado método de desenvolvimento de software (ASPIS) [Weng87].

Apresentamos uma lista de características onde são apontadas algumas características comuns de tutores inteligentes e assistentes inteligentes, adaptados e estendidos por conclusões de Rich [Rich88] sobre sistemas especialistas:

- o escopo da área é restrito e bem definido;
- o assunto abordado possui regras explícitas e claras, existem relações causa-efeito bem definidas, que possibilitam realizar diagnósticos (inferências);
- existe um razoável consenso entre os especialistas da área considerada sobre o conteúdo;
- não existem mudanças significativas, durante um certo período, dos conceitos básicos do assunto em questão;
- o assunto abordado é o objeto de interesse para algum grupo que deseja e/ou necessita aprendê-lo.

Na literatura atual não encontramos exemplos numerosos do uso sistemático de sistemas tutores inteligentes. Tendo em vista as potencialidades dessa classe de software educacional, sugerimos âmbitos de utilização, levando em consideração as recomendações de Seidel e Park [Seid94], de que novas tecnologias, como os sistemas tutores inteligentes, devem ser submetidas a uma avaliação sistemática, antes de sua efetiva aplicação:

- Áreas "problemáticas":

São aquelas em que, frequentemente, alunos apresentam dificuldades, como é o caso da Matemática. O emprego de um tutor inteligente para multiplicação de números, por exemplo, como o Tutor Aritmético (ensino de aritmética, Oliveira, 1992) [Vicc92], pode ser um fator motivador para o aluno superar eventuais dificuldades.

- Auto-educação:

Desde que tenhamos um produto bastante eficiente, podemos sugerir seu uso como um fator de progresso para o aluno motivado em aprender sozinho.

- Estágio inicial de uma aprendizagem mais complexa:

Nesse caso, o produto é utilizado como treinamento ou introdução para um posterior desenvolvimento. Citamos, como exemplo, o GUIDON, que foi desenvolvido como um tutor do MYCIN. O GUIDON propicia treinamento básico para alunos de Medicina na área de doenças infecciosas [Buch85]. Alguns produtos são utilizados como um treinamento para áreas onde a operação real é onerosa, perigosa ou complexa.

- Acompanhamento:

A utilização de um software do tipo tutor inteligente *pari passu* ao conteúdo educacional que é mostrado em sala de aula é um elemento de incentivo ao aluno, desde que haja uma orientação apropriada de um professor.

- Teste e acompanhamento de estratégias pedagógicas:

A estrutura dos sistemas tutores inteligentes permite testar e avaliar várias estratégias pedagógicas através de um grupo reduzido de alunos ou com a simulação dos mesmos. Entre os testes que podem ser executados citamos: a adequação do currículo ao perfil do aluno, o ajuste do tempo de sessão para cada tópico e o ajuste do nível de dificuldade dos problemas propostos ao perfil do aluno. No projeto GUIDON várias

estratégias pedagógicas foram testadas antes de se chegar a um ponto adequado [Clan87a].

Asanome [Asan91] sugere os seguintes usos para que tutores inteligentes auxiliem a Educação, aos quais agregamos alguns comentários:

- Disseminação de conhecimentos:

A utilização de tutores inteligentes pode suprir a ausência de professores especialistas em determinado assunto; o tutor inteligente favorece a prática da auto-educação, e é um dos fatores que pode possibilitar a educação à distância.

- Capacitação de docentes:

Tutores inteligentes podem ser usados para treinamento de professores, numa área carente de recursos humanos, e até como o primeiro passo de um treinamento mais completo.

- Salas de aula dinâmicas e motivadoras:

O uso de tutores inteligentes pode ser um fator motivador para dinamizar as relações aluno-professor; a utilização de um tutor inteligente pode tornar interessante assuntos que apresentados de uma maneira tradicional não despertam a curiosidade e o interesse dos alunos.

- Recuperação de alunos fracos em certas disciplinas:

Alunos com problemas em determinadas disciplinas podem se utilizar de tutores inteligentes, bem como outros softwares educacionais, para a superação de problemas de desempenho.

2.3.10 A Representação do Currículo

O currículo é a organização do material a ser ensinado em semestres, lições e tópicos possibilitando uma sequenciação de acordo com as propriedades do domínio e dos objetivos de tutoração. Uma classe de software com finalidades educativas que permite uma representação curricular amplia o espectro de assuntos e temas a serem abordados. Questões referentes à representação curricular são tomadas como secundárias na área de tutores inteligentes, dando-se mais ênfase a outros aspectos, como por exemplo, a representação do conhecimento, a comunicação e o modelo do aluno [Wink93].

Os *grafos genéticos* foram uma das primeiras propostas de representação curricular, sendo implementados no WUSOR-III (jogo educativo, Goldstein, 1979) [Gold82]. O grafo genético é uma representação de sub-habilidades elementares com nós conectando suas relações evolucionárias, tais como *generalização* e *analogia* (vide figura 19) [Weng87].

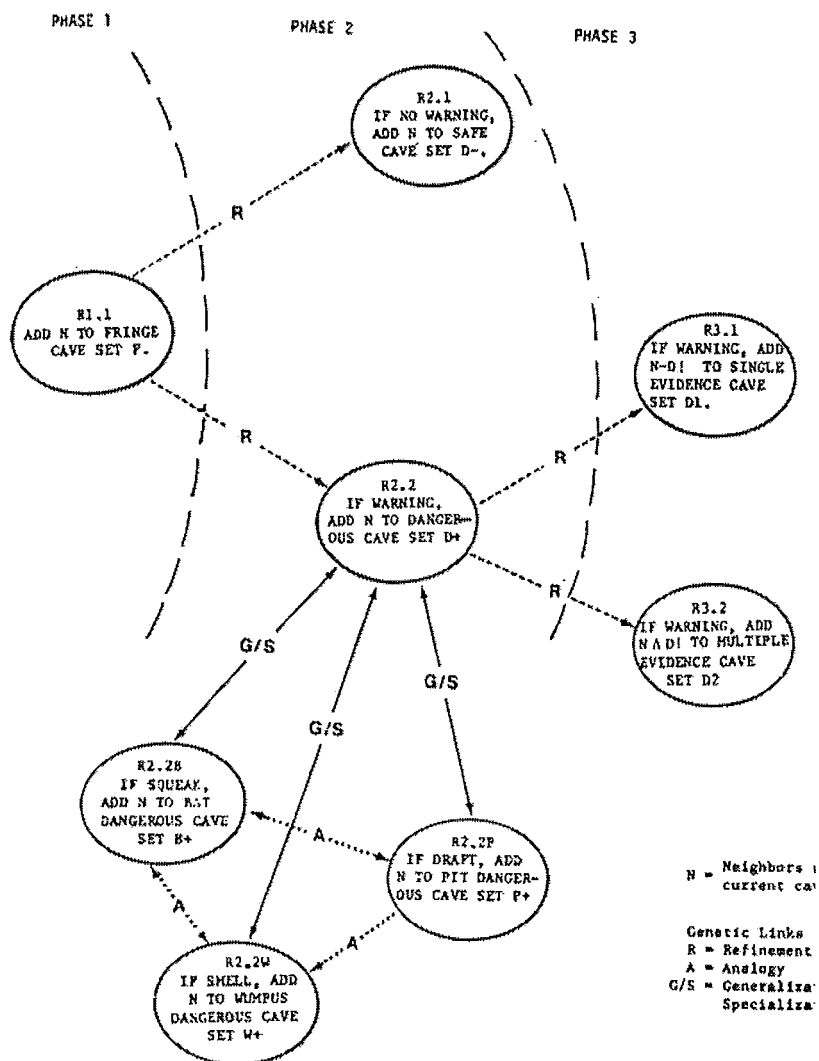


Figura 19: Uma região do grafo genético do WUSOR [Weng87]

Um modelo mais simplificado de representação curricular é feito através de um *grafo de precedência*, adotado por Clark e McCartney [Clar93] e Le [Le94]. Um grafo de precedência é um "grafo acíclico orientado onde os nós representam conceitos e as arestas de um conceito para outro denotam que o entendimento do primeiro conceito é pré-requisito para o entendimento do segundo" [Clar93]. A figura 20 mostra um exemplo de grafo de precedência.

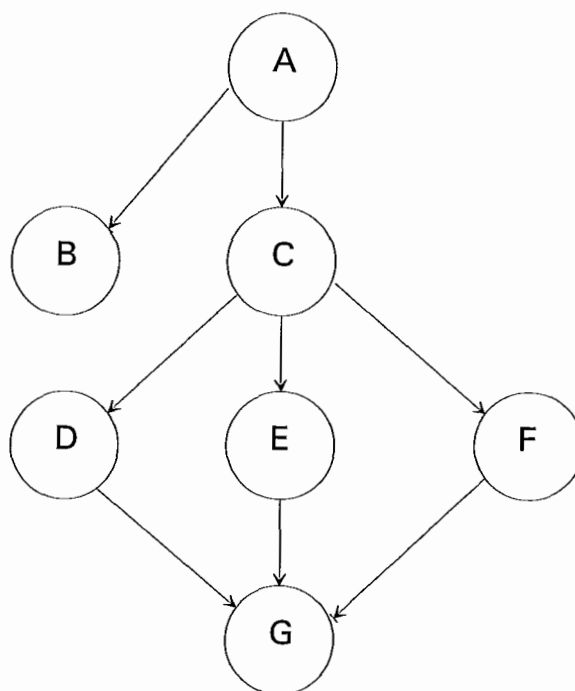


Figura 20: Um grafo de precedência simples para sete conceitos [Clar93]

Nos softwares educacionais que apresentam currículo, este é fixo em geral [Wink93]. Uma situação ideal é termos o currículo mais flexível e adaptável às características do aluno. Outra questão pertinente é que para um domínio complexo não é realístico assumir a existência de um grafo estático [Weng87].

Associado à estrutura de representação curricular o software educacional deve ser provido de um algoritmo para recuperar o tópico a ser ensinado. Trabalhos dessa

natureza são encontrados em Sarmento e Passos [Sarm91], em Capell [Cape93] e em Le [Le94]. Clark e McCartney sugerem três formas de percorrimento do grafo de precedência: top-down (dos pré-requisitos aos requisitos), bottom-up (dos requisitos aos pré-requisitos) e por escolha do aluno [Clar93].

2.4 Outras Questões e Conclusões

Sistemas tutores inteligentes tiveram sua origem nos sistemas especialistas. O uso de técnicas de Inteligência Artificial possibilita inferir aspectos não observáveis do comportamento do aluno com o intuito de produzir uma interpretação de suas ações e de reconstruir o conhecimento evidenciado por suas ações [Weng87].

A representação do conhecimento específico é uma questão central em sistemas baseados em conhecimento, implicando na forma de interação tutorial, bem como nas estruturas que governam a seleção de exemplos, questões e declarações [Soko91]. Viccari aponta que o grande problema é encontrar formalismos que representem o raciocínio utilizado pelo aluno na solução de um objetivo [Vicc93]. Os esquemas de representação diferem amplamente nas pesquisas de sistemas tutores inteligentes na modelagem, modelagem do estudante e projeto instrucional [Warr93]. Sokolnicki aponta que a representação do conhecimento permite a solução do problema, porém não explica ou justifica a solução. Dentre as técnicas de representação do conhecimento comumente usadas pela Inteligência Artificial, tutores inteligentes e assistentes inteligentes utilizam-se de: regras de produção, redes semânticas, rede aumentada de transição, roteiros, quadros, grafos genéticos e grafos AND/OR.

A definição de uma arquitetura básica de um sistema tutor inteligente esbarra no fato de que cada autor tem suas próprias noções e terminologias, devido à natureza experimental da área [Soko91]. Para Oliveira e Viccari sistemas tutores inteligentes variam de uma implementação para outra. Contudo é possível descrever uma arquitetura básica [Oliv91].

A complexidade de fazer com que sistemas tutores inteligentes respondam em tempo real é uma tarefa não trivial [Cava91]. A necessidade de que a interação com o estudante seja feita no menor tempo possível é uma característica crítica. Segundo Cavallo esta é uma consideração adicional para se usar o modelo overlay.

Diversos autores destacam a dificuldade em se produzir sistemas tutores inteligentes [Orey93] [Warr93]. Orey, citando Merrill, declara que no caso de sistemas tutores inteligentes são necessárias 500 horas de projeto e desenvolvimento por hora de instrução; o tutor LISP levou três homens/ano ou aproximadamente 6000 horas para produzir de 30 a 40 horas de instrução, resultando em uma média para cada hora de instrução de 200 horas de trabalho [Soko91].

A superação de dificuldades na criação de sistemas tutores inteligentes desenvolve-se em quatro campos: a criação de shells específicos para tutores inteligentes [Soko91]; a padronização do modelo de aluno, que possibilitaria a reutilização para outros campos [Huan91]; a definição de um modelo de aluno mínimo para um dado assunto [Clar93]; e o uso de ferramentas multimídia [Fran92] [Orey93].

Os dois usos básicos desses tipos de shell são: *consulta* à base de conhecimento já existentes e *construção* por especialistas e, até mesmo, alunos de uma nova base de conhecimento [Fisc90]. Na literatura recente encontramos sistemas de autoria para sistemas tutores inteligentes, como o IDE (Instructional Design Environment), KAFITS e TDITS (A Tool for Developing Intelligent Tutoring Systems) [Lian90] [Majo93]. A utilização de recursos de multimídia, como no caso do Piano Tutor, uma estação de trabalho para o ensino de piano, é uma tendência observada [Cap93]. O uso de multimídia permite que o tutor apresente os assuntos de forma mais aproximada às habilidades que se pretende ensinar. Orey *et al* apontam na mesma direção citando o emprego de recursos de multimídia [Orey93].

O projeto de softwares educacionais, e em particular sistemas tutores inteligentes, deve ser participativo, ou seja, deve levar em conta a opinião daqueles que vão usá-los diretamente: os alunos e os professores. Clancey sugere o uso da técnica *projeto participativo* para atingir esta meta [Clan93].

O projeto de um sistema tutor inteligente é uma tarefa que envolve várias etapas: modelagem do domínio, processos de argumentação e processos de comunicação [Clan93]. Constatamos através da literatura a inexistência de uma metodologia de projeto de tutor inteligente que esteja consagrada na comunidade de Educação e Inteligência Artificial. Verificamos experiências pontuais de uso do método KADS (Knowledge Acquisition and Design Structuring), descrito por Wielinga [Wiel92], em Bredeweg e Breuker [Bred93] e em Werneck e Rocha [Wern94]. Baseado nas experiências relatadas por Sleeman e Brown [Slee82], Wenger [Weng87], Sokolnicki [Soko91] e Viccari e Oliveira [Vicc92], envolvendo múltiplos projetos e autores, representantes de uma substantiva parte da história dos tutores inteligentes, constatamos soluções locais e múltiplas facetas cognitivas.

CAPÍTULO 3

O JOGO DE XADREZ

Neste capítulo descreve-se o jogo de xadrez, suas premissas educacionais e suas inter-relações com a Inteligência Artificial.

São introduzidos os conceitos e a terminologia típica do jogo, são discutidas as formas básicas de ensino e de aprendizagem e, ao final é mostrada uma forma de implementação de softwares de jogo de xadrez, baseado no modelo de Shannon.

3.1 Introdução

A prática do xadrez encontra-se em grande expansão por todo o mundo. A cada ano um número maior de competições é organizada, mais pessoas aprendem a jogar e cresce o número daqueles que atingem o título de grandes-mestres.

Nos países mais destacados nessa modalidade a organização baseia-se em uma estrutura abrangendo um grande número de escolas e em pequenos clubes, onde novos valores são descobertos e encaminhados para centros de treinamento mais fortes. Paralelamente ao esforço esportivo, a implantação do xadrez como uma opção disciplinar em escolas é vista como uma atividade que irá beneficiar o aluno, favorecendo o seu desenvolvimento intelectual.

O interesse pelo xadrez é evidenciado não só pelo crescente número de praticantes, mas, também, pela implantação de novos clubes e edição de livros e revistas. A popularização do computador é um dos fatores que contribuem para a disseminação desse jogo, encontrando-se no mercado vários softwares correlatos. O xadrez, também, apresenta interdisciplinaridade com outros campos do conhecimento humano, como, por

exemplo, a Matemática, a Psicologia e a Ciência da Computação, o que faz com que o seu estudo ultrapasse as fronteiras do lúdico e do simples passatempo.

Não é fácil, entretanto, descrever os motivos que levam milhões de pessoas a se dedicarem a esse jogo. Por mais que enumeremos as qualidades que pretensamente o xadrez desenvolve em cada indivíduo, certamente não encontraremos motivos para a grandiosidade dessa paixão. Talvez o fascínio do xadrez resida em que mesmo com poucos elementos consegue-se produzir uma infinidade de novas opções, formando uma rede inextricável que não se consegue desvendar. Mesmo a um campeão mundial acontece de vez em quando uma surpresa acarretando-lhe uma derrota como que a avisá-lo de que somos todos mortais. Todos os movimentos ficam registrados e depois é possível a reprodução da partida acompanhando-se no tabuleiro as emoções (ou pelo menos parte delas) vividas pelos dois oponentes.

O desafio de se procurar a melhor maneira de jogar, uma estratégia ótima que garanta sempre a vitória, é uma busca que persiste desde a criação do jogo. Essa busca incessante que se perde na imensidão de possibilidades fez com que, ao longo dos tempos, o xadrez seja visto como uma espécie de paradigma de inteligência. *Goethe* declarou: “o xadrez é a ginástica da inteligência”; *Montesquieu* registrou: ”o xadrez é muito jogo para ser ciência e muita ciência para ser jogo” [Beck91].

Com o advento dos computadores essa busca do homem pelo conhecimento total ganhou um companheiro e muitas vezes um adversário que busca o mesmo objetivo. Talvez devamos nos lembrar, como nos faz Hsu [Hsu90b], de que sendo as máquinas produto do gênio humano, por trás de suas vitórias ainda assim há um toque humano.

3.2 Métodos de Ensino/Aprendizagem em Xadrez

Ultrapassada a fase inicial em que o jogador aprende os conceitos básicos do xadrez, a fase posterior de ensino/aprendizagem é tratada genericamente como treinamento. O

objetivo do treinamento em xadrez é a elevação técnica do jogador, atingindo determinado estágio, por exemplo a aquisição de habilidade para resolver problemas de certo tipo ou o entendimento de uma abertura específica. Os processos básicos usados no treinamento são: realização de partidas com ou sem análise posterior (*análise post-mortem*); reprodução e análise de partidas de grandes-mestres com perguntas aos alunos sobre que lances fariam (prática conhecida como *lance do mestre*); estudo de partidas de eventuais adversários; estudo de aberturas e defesas; solução de problemas típicos; e estudo de finais. A análise de uma partida consiste em se fazer comentários sob a perspectiva dos dois jogadores, verificando-se não só o que foi jogado como também, as variantes que poderiam ter sido jogadas, apontando as posições críticas, os lances bons e maus, os planos empregados e possíveis planos alternativos e outras informações pertinentes.

Uma preocupação sempre presente na prática e análise de partidas de xadrez em todas as fases é a *estratégia* e a *tática*. A tática é ganhar ou ameaçar ganhar material e a estratégia é o jogo posicional [Scha91]. A tática refere-se à execução de lances forçados e imediatos; a estratégia compreende lances de profundidade, que normalmente resultam em planos, envolvendo a coordenação de peças e a visualização de debilidades próprias e do oponente.

O treinamento pressupõe que posições análogas às estudadas reproduzir-se-ão durante as partidas reais. Quando isso acontece, o aluno põe em prática jogadas, planos e estratégias já exercitados por ele, o que implica em menor tempo de análise e maior possibilidade de êxito.

Como em toda atividade esportiva o treinamento exerce uma função muito importante no preparo em xadrez. Aspectos psicológicos de treinamento em xadrez indicam que mesmo que esta suposição não se concretize plenamente, o jogador que treinou melhor apresenta mais segurança no manuseio de posições novas, o que representa uma condição não desprezível na preparação. Podemos, então, considerar o

treinamento¹ em xadrez como uma preparação técnica e psicológica para resolver novas situações que se apresentam no tabuleiro.

O xadrez possui características singulares que o diferencia de outros jogos, por exemplo, o jogo de damas, onde a vitória cabe àquele que captura todas as peças do adversário. Lembremo-nos de que no xadrez o importante é o xeque-mate, a captura do rei adversário, ao mesmo tempo em que se deve evitar que o adversário atinja o mesmo objetivo. Inadvertidamente é freqüente o iniciante enveredar por linhas de captura, simplesmente pela ganância de material, o que não raro conduz à derrota. Para evitar esta concepção errônea há uma preocupação básica em fazer com que o aluno avalie a posição não só pelos aspectos materiais (*valoração material*) mas, principalmente, pelos aspectos posicionais (*valoração posicional*).

O treinamento orientado baseia-se fortemente na analogia com posições já conhecidas. A ênfase é no entendimento de cada situação que se apresenta no tabuleiro. Alguns fortes jogadores, como Capablanca², já apontavam a deficiência de métodos que enfatizam a memorização [Capa88].

A orientação do treinamento é feita por técnicos e, mais comumente, pelo próprio jogador. As fontes básicas de treinamentos são textos em livros, revistas especializadas e, recentemente, programas, bancos de dados e microcomputadores dedicados, máquinas que jogam exclusivamente xadrez.

Numa primeira etapa de aprendizado, o aluno aprende o movimento das peças e as regras básicas do jogo. Paulatinamente procura-se desenvolver a visão tática do aluno, apresentando-lhe problemas típicos. Na fase seguinte são apresentadas as partidas

¹ Chaves dá uma definição mais abrangente de treinamento, definindo-o como “um processo centrado no aprendizado de conteúdos práticos ou aplicáveis, ou na aquisição de habilidades, geralmente em contexto não-escolar” [Chav91].

² Capablanca, José Raul - cubano, campeão mundial, 1921-27.

clássicas (*A Imortal*³, *Sempre Viva*⁴). Numa fase posterior, são estudados os princípios estratégicos que norteiam o jogo utilizando-se partidas de grandes-mestres.

A prática e o treinamento contínuos tendem a desenvolver no aluno um senso de posição que permite análises em novas situações. Além de regras e conceitos, existe a preocupação de que o aluno gradativamente conheça e aplique os princípios básicos que caracterizam cada etapa do jogo. Esses princípios servem como bons conselhos, porém não é seguro afirmar que sempre funcionem pois o xadrez apresenta inúmeras exceções e parece ser à prova de generalizações. Entre tais princípios que são discutidos com o aluno citam-se alguns aplicáveis às aberturas, mostrados na figura 21, tomados de D'Agostini [D'Ag90].

Inicie a partida com e4 ou e5;
Sempre que possível, desenvolva uma peça que ameace alguma coisa;
Desenvolva os cavalos antes dos bispos;
Escolha a melhor casa para sua peça e ocupe-a com o menor número de lances;
Movimente um ou dois peões na abertura e não mais;
Não movimente a dama precocemente;
Faça o roque o mais cedo possível e de preferência, o roque com a torre do rei;
Jogue para obter o controle do centro;
Esforce-se para manter ao menos um peão no centro;
Não sacrifique material sem um motivo claro e imediato.

Figura 21: Regras práticas nas aberturas [D'Ag90]

Uma análise mais aprofundada de tais princípios conclui que em alguns casos eles são redundantes e sua aplicação direta, sem uma análise particular a cada situação, pode levar à derrota. Contudo, devemos considerá-los conhecimentos heurísticos que, quando

³ Partida jogada entre Anderssen e Kieseritzky, Londres, 1851.

⁴ Partida jogada entre Anderssen e Dufresne, Berlim, 1853.

usados corretamente, podem levar o principiante a uma escolha adequada do lance a realizar.

O estudo do jogo de xadrez é apoiado pela grande quantidade de informação disponível, contudo, existem lacunas no que se refere à definição, escolha e uso de métodos eficazes de aprendizagem. O progresso do aluno é percebido de várias maneiras como, por exemplo, pela superação de adversários que costumeiramente o derrotavam, pela solução de problemas de certo grau de dificuldade ou pela obtenção de melhores classificações em competições.

Os processos básicos de treinamento são amplamente divulgados, existindo amplo material sobre cada um desses elementos. Existem obras clássicas de apoio como, por exemplo, os livros “*Piense como um Gran Maestro*” [Koto74] e “*El Sentido Común en Ajedrez*” [Lask88]. Nestas obras fortes jogadores, entre eles, diversos campeões mundiais, expõem suas concepções sobre o jogo. Entretanto o conjunto dessas obras não forma uma metodologia que ao ser utilizada garanta que um jogador sem nenhum conhecimento em xadrez chegue ao título de grande-mestre. Podemos fazer uma analogia com outras atividades humanas, onde o ensino não garante que se atinja o ponto máximo, sendo que outros fatores como a vocação e a dedicação são também preponderantes para se atingir aquele nível. São notórias as facilidades de se ensinar o básico em xadrez e enormes são as dificuldades em se fazer um jogador atingir um alto padrão de jogo.

Existem fortes evidências de que métodos de treinamento bastante eficientes estão sendo empregados, fato que se comprova pelo incremento no número de pessoas que atingem o nível de grandes-mestres e pela precocidade na obtenção dos mesmos. Há pouco tempo, *Judith Polgar*, uma húngara de 16 anos bateu o recorde do ex-campeão mundial o americano *Robert Fischer*, como aquele que com menor idade atingiu o título de grande-mestre, título cujo prestígio só é superado pelo de campeão mundial. Poucos meses depois *Peter Leko*, outro húngaro, quebrou o recorde de Judith Polgar, estabelecendo a idade de 14 anos ao atingir aquela marca [Najd94].

3.3 Descrição do Xadrez

O jogo de xadrez, na sua versão atual, representa uma guerra entre dois exércitos, representados por dois grupos de peças - um branco e outro negro - que atuam sobre um tabuleiro. A sua configuração atual foi definida durante a Idade Média quando foi introduzido na Europa pelos árabes. As últimas modificações importantes foram realizadas durante o Renascimento com a adoção dos movimentos especiais (roque, grande-roque e tomada *en passant*).

O objetivo primordial do jogo de xadrez é a captura do rei adversário, a que se dá o nome de *xeque-mate*. Na consecução desse objetivo, coloca-se em prática diversos mecanismos de ataque e defesa, dando-se ênfase à criatividade (engenhosidade e capacidade de solucionar novos problemas) e à experiência (conhecimento aplicável adquirido em partidas anteriores e treinamentos).

As *peças* representam diversos personagens que participam da batalha. Cada lado, inicialmente, possui um rei, uma dama (também chamada rainha), duas torres, dois bispos, dois cavalos e oito peões, totalizando dezesseis peças. Cada tipo de peça possui movimento distinto. Ícones representando as peças são mostrados na figura 22.

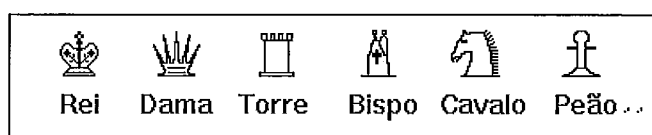


Figura 22: As peças e suas representações gráficas

O raio de ação de cada peça, aliado às outras características determinadas pelas regras de jogo, faz com que as mesmas apresentem diferenças de força entre si. Tomando-se o peão como padrão de 1 ponto, considera-se que o *valor material relativo* das outras

peças é: cavalo - 3 pontos; bispo - 3 pontos; torre - 5 pontos; e dama - 9 pontos. O rei não é avaliado materialmente pois o seu valor é absoluto uma vez que a sua perda resulta no término da partida.

Uma partida de xadrez desenvolve-se sobre uma superfície plana quadriculada de casas alternadamente brancas e negras chamada *tabuleiro*. O tabuleiro é composto por 8 casas de base e 8 casas de altura, perfazendo um total de 64 casas, sendo 32 brancas e 32 negras.

As casas do tabuleiro formam colunas, linhas e diagonais. As colunas são conjuntos verticais de oito casas alternadas brancas e negras; as linhas são conjuntos horizontais de oito casas alternadas brancas e negras; as diagonais são conjuntos de casas de mesma cor, dispostas num mesmo sentido, variando de duas a oito casas [Sá93].

A figura 23 mostra o tabuleiro na sua posição correta, com a casa branca no canto inferior à direita.

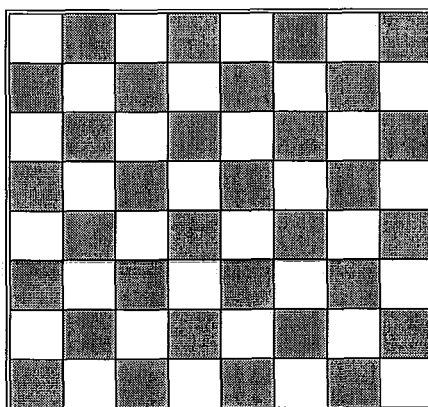


Figura 23: O tabuleiro de xadrez

Denomina-se partida a uma seqüência de lances jogada entre dois jogadores. Toda partida inicia-se obrigatoriamente na mesma posição, denominada *posição inicial* (vide

figura 24), com uma jogada realizada pelas brancas e respondida pelas negras, alternando-se a vez de jogar até o término. Designa-se a vez de jogar à cor das peças a quem cabe jogar, ou seja, dizemos, por exemplo, que a vez é das brancas ou o lance é das brancas se cabe ao condutor das peças brancas realizar o lance.

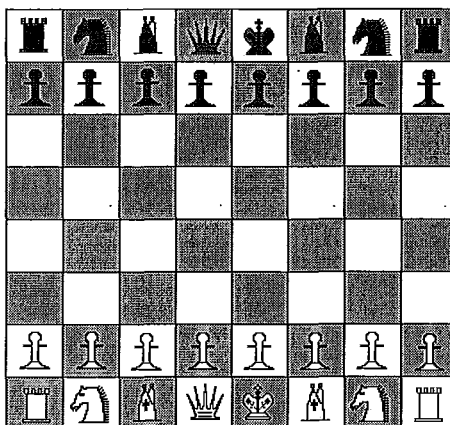


Figura 24: Posição inicial do xadrez

As peças de mesma cor movimentam-se e procuram atacar e capturar as do adversário, visando enfraquecer a defesa do oponente, ao mesmo tempo em que se organizam e defendem-se mutuamente evitando os ataques adversários.

Uma partida de xadrez apresenta três possíveis resultados: vitória das brancas, vitória das negras e empate. Excluindo questões relacionadas ao controle de tempo, a vitória de um dos lados dá-se quando se executa o xeque-mate ou quando o adversário abandona a partida; o empate ocorre de diversas formas, sendo as mais comuns o empate por comum acordo e o empate por insuficiência de material, que dá-se quando nenhum dos dois lados possui peças suficiente para dar mate.

As partidas de xadrez são anotadas, permitindo uma posterior reprodução de cada movimento. A anotação oficial é feita através do sistema algébrico, que representa o

tabuleiro por 8 colunas (*a..h*) e 8 filas (*1..8*), sendo que cada casa é representada por uma interseção entre a coluna e a fila que a contém. Esse sistema apresenta a vantagem de que cada casa possui uma única representação e com essa padronização consegue-se com pouco esforço montar partidas, inclusive as anotadas em outros idiomas. A figura 25 apresenta o tabuleiro e as designações de suas casas.

8	a8	b8	c8	d8	e8	f8	g8	h8
7	a7	b7	c7	d7	e7	f7	g7	h7
6	a6	b6	c6	d6	e6	f6	g6	h6
5	a5	b5	c5	d5	e5	f5	g5	h5
4	a4	b4	c4	d4	e4	f4	g4	h4
3	a3	b3	c3	d3	e3	f3	g3	h3
2	a2	b2	c2	d2	e2	f2	g2	h2
1	a1	b1	c1	d1	e1	f1	g1	h1
	a	b	c	d	e	f	g	h

Figura 25: O tabuleiro e as casas designadas na anotação algébrica

A figura 26 mostra uma partida anotada pelo sistema algébrico. Isto permite a gravação da partida em algum meio físico e posterior reprodução. A reprodução de uma partida permite uma análise dos acertos e erros dos dois jogadores e possibilita a terceiros o acesso aos diversos ensinamentos dessa partida.

Paul Morphy _ Duque de Brunswick e Conde Isouard

Paris

1858

1. e4 e5 2. Cf3 d6 3. d4 Bg4 4. dxe5 Bxf3 5. Dxf3 dxe5 6. Bc4 Cf6 7. Db3 De7
 8. Cc3 c6 9. Bg5 b5 10. Cxb5 cxb5 11. Bxb5 Cbd7 12. O-O-O Td8 13. Txd7 Txd7
 14. Td1 De6 15. Bxd7 Cxd7 16. Db8 Cxb8 17. Td8++

Figura 26: Exemplo de partida de xadrez anotada pelo sistema algébrico [D'Ag90]

As regras para os movimentos das peças e condução do jogo são padronizadas em todo o mundo pela FIDE (*Fédération Internationale d'Échecs*).

3.4 Fases de uma Partida de Xadrez

Para efeitos didáticos e técnicos costuma-se dividir uma partida de xadrez em três fases distintas: *abertura*, *meio-jogo* e *final* [D'Ag90].

Na abertura, fase do jogo que compreende os lances iniciais, procura-se desenvolver as peças, dominar as casas centrais do tabuleiro com a presença de peões e colocar o rei, peça mais importante do jogo, em proteção, através do movimento especial chamado *roque*. As peças *ligeiras* - cavalos e bispos - procuram sair de suas casas originais, deslocando-se para casas de onde poderão dominar o centro do tabuleiro e pressionar o rei adversário. Em geral nessa fase os jogadores experimentados usam seqüências de jogadas padronizadas denominadas *aberturas* (assim denominadas quando seus lances são executados pelas brancas) e *defesas* (*idem* pelas negras), com o objetivo de trilhar um caminho já conhecido que se adapte ao seu estilo de jogo, evitando alguma surpresa ou com o intuito de surpreender o adversário. Essas seqüências podem chegar em alguns casos a mais de vinte lances, como em algumas variantes da abertura Ruy López⁵. Num xadrez de maior nível é comum a apresentação de lances novos nessas seqüências já estudadas, denominados *novidade teórica*.

No meio-jogo, fase intermediária entre a abertura e o final, são feitas manobras para debilitar o adversário e posteriormente atacar essas debilidades e obter alguma vantagem. As peças *pesadas* - torre e dama - entram em cena, criando ameaças ao adversário. Uma característica do meio-jogo são as *combinações*. Combinações podem surgir também na abertura e no final. Combinação é “uma variante forçada de jogadas mediante a qual seu iniciador alcança o objetivo a que se propôs” [Roma90]. Entre estes objetivos relacionam-se, por exemplo, um ataque de mate ou o ganho de uma peça. As

⁵ No xadrez é comum nomear-se as aberturas, defesas e variantes homenageando grandes jogadores (Ruy López, Alekhine, Nimzovitch) ou países e regiões (Francesa, Escocesa, Siciliana).

combinações, além do valor técnico, apresentam grande relevância no jogo pelo seu valor estético; Alekhine⁶ considerava as combinações a alma do xadrez.

O final é caracterizado pela presença de poucas peças no tabuleiro. Frequentemente nesta fase ainda restam alguns peões em ambos os lados e o objetivo básico é promovê-los, normalmente à dama, que é a peça mais poderosa. O rei, até então uma peça resguardada, torna-se uma peça ativa e, muitas vezes, capaz de levar os seus à vitória. Capablanca opinava que o ensino de xadrez deveria enfatizar o estudo de finais [Capa88].

Uma partida de xadrez pode terminar em qualquer uma das três fases. Os pontos de fronteira entre uma fase e outra não são muito explícitos. Entretanto, por terem características distintas, as fases possuem diferentes abordagens de ensino e treinamento.

3.5 Premissas Educacionais da Prática do Jogo de Xadrez

Em diversas culturas podemos observar o jogo como uma preparação para atividades que serão executadas na vida adulta. Fonseca [Fons93] aponta que “os jogos preparam o indivíduo para uma atuação mais sofisticada no mundo; jogos e aprendizagem são, sob muitos aspectos, sinônimos já que não há outro meio de conseguir aprimoramento pessoal a não ser através de processos de aprendizagem”.

Ao falarmos de jogo, relacionamos com palavras como lazer, brincadeira e fantasia, elementos do cotidiano infantil. Do ponto de vista da criança praticar um jogo é a melhor maneira de aprender. Isto tem motivado a adoção da filosofia de *aprender brincando*, enfatizando aspectos lúdicos, minimizando as cobranças ao aluno e explorando criativamente os conteúdos que nem sempre são os mais interessantes.

⁶ Alekhine, Alexandre - russo, campeão mundial 1927-35, 1937-46.

A adoção de um jogo com finalidades educacionais depende da adequabilidade do jogo à faixa etária do jogador e, fundamentalmente, do interesse do aluno pelo jogo. O domínio/não domínio do jogo ou as freqüentes vitórias/derrotas sobre/para um mesmo adversário, em geral, levam ao desinteresse no mesmo. Frequentemente são adotadas estratégias para manutenção do interesse do aluno ao jogo, tais como, a possibilidade de ter adversários adequados ao nível do jogador (gradação de nível) e mudança de cenário. Para jogos cujo contato físico não traz riscos de contusões manter grupos de jogadores com faixas etárias próximas é uma ação de treinamento que permite à criança formar seus próprios companheiros de jogo, ao mesmo tempo em que estimula o progresso através do contato com jogadores mais experientes. O súbito desinteresse do aluno por determinado jogo pode comprometer todas as expectativas educacionais formuladas.

O jogo é uma atividade natural na criança e isto permite que acompanhem o seu desenvolvimento cognitivo [Piag94a]. Piaget coloca o jogo no mesmo nível da linguagem como elemento formador [Piag93]. O jogo, segundo Piaget, pode ser classificado em: jogos práticos, jogos simbólicos e jogos com regras que continuam até a fase adulta [Rosa79].

Os jogos estão relacionados aos computadores através dos jogos educacionais, uma categoria de software educativo que utiliza a estratégia motivacional de jogar para aprender algum conceito ou exercitar alguma habilidade [Cobu88]. Banet, segundo O'Shea e Self, destaca características de jogos educacionais que o diferem de jogos tradicionais [O'Sh83]:

- efeitos audio-visuais são usados para recompensar o sucesso e apresentar a situação de jogo;
- o jogo pode incrementar sua habilidade em desafiar o jogador;
- o jogo incorpora elementos de fantasia;
- o computador pode cronometrar as respostas do jogador e calcular escores.

Malone [O'Sh83] estudando a motivação dos jogos educacionais destaca três características:

- Desafio - existe incerteza em atingir um objetivo;
- Curiosidade - há uma expectativa do que irá acontecer, mas, por vezes, há surpresas;
- Fantasia - os jogos provocam imagens mentais não presentes aos sentidos.

Malone faz um paralelo das características apontadas com a teoria piagetiana: “as pessoas são conduzidas a atingir o domínio [*desafio*] procurando ambientes informativos ótimos [*curiosidade*] os quais são assimilados, em parte, usando esquemas de outros contextos [*fantasia*]” [O'Sh83].

Ao introduzirmos o jogo como uma opção educativa devemos estar atentos aos limites de sua prática e avaliar até que ponto é educativa. Há a possibilidade, conforme aponta Valente, do jogo estimular apenas a competição [Vale93].

Dentre os jogos destaca-se o xadrez por ser uma atividade predominantemente intelectual. A prática do xadrez requer concentração, análise correta entre várias opções e decisão. Como esporte, o xadrez está sujeito a princípios éticos e morais que permeiam sua prática. A idéia de que a prática do xadrez tem um valor educacional parece ser tão antiga quanto o próprio jogo. Referências a efeitos benéficos da prática enxadrística, aparecem já em tratados medievais e pré-renascentistas, como o *Libro del Acedrez* (1283). Lauand aponta a importância dos jogos, entre eles destacando o xadrez, na educação medieval [Laua88].

Existem trabalhos na área de Psicologia que procuram determinar as características dos grandes jogadores de xadrez. Binet em 1894 concluiu que a memória do enxadrista está estreitamente unida ao raciocínio [Puch67]. De Groot asseverou que o que diferencia um grande-mestre de um jogador comum é a capacidade de lembrar-se de milhares de posições padrões (*chunks*), associando-as ao jogo que se desenrola [Berl88].

A difusão do xadrez é facilitada pois o ensino do jogo é relativamente simples. As regras básicas podem ser aprendidas em torno de 1 hora. Além disso, o material básico do xadrez (tabuleiro e peças) é relativamente barato considerando-se a grande vida útil. Outro fator facilitador da difusão é que o xadrez pode ser aprendido por crianças em tenras idades. Esse jogo pode ser ensinado a crianças a partir de 5 anos, embora a idade ideal seja a partir dos 7 anos. Essa idade corresponde ao início da escolarização e a criança é capaz de cooperar com outros, pois não confunde seus pontos de vista com os de outros [Piag94b]. Nesta idade a criança está apta a participar de jogos com regras [Piag94b].

No caso do xadrez o nível inicial atingido pela criança, logo que aprende as regras básicas, não é o fator preponderante para o seu futuro progresso. Experiências de ensino indicam que as crianças apresentam ciclos de interesse pelo jogo de xadrez e após um período de abandono, é comum retornarem às competições.

Existe uma forte tendência a que se ensine a jogar xadrez às crianças o mais cedo possível. Do ponto de vista esportivo, técnicos de xadrez acreditam que o contato precoce com o jogo fará com que o jogador atinja um nível mais elevado ao atingir a idade adulta. Campeões mundiais como Capablanca e Kasparov aprenderam a jogar xadrez por volta dos cinco anos de idade.

Do ponto de vista pedagógico diversos especialistas em Educação afirmam que o contato com o xadrez na infância possibilita o desenvolvimento intelectual dos seus praticantes [Sá91]. Esta faixa etária, iniciando-se por volta dos sete ou oito anos, corresponde ao período em que começa a surgir na criança o pensamento operacional concreto e o início da imaginação antecipatória [Rosa79].

Para Bettelheim, segundo Rosamilha [Rosa79], o jogo de xadrez, pertencente à classe dos *jogos de habilidade*, é muito importante pois “simboliza a vitória da mente sobre a matéria, a sublimação da agressão pela paciência e razão”. Complementa o mesmo autor:

"Antecipando os movimentos de seu oponente, o enxadrista aprende a antecipar reações aos seus movimentos na vida - uma habilidade muito importante para viver bem com os outros".

Estudos demonstram a relação entre o aprendizado, prática e treinamento de xadrez com a melhora do rendimento escolar. O xadrez faz parte do currículo de escolas equivalentes ao 1o. grau brasileiro em vários países como matéria optativa (França, Rússia, Israel, entre outros) [Sá90b].

Segundo Marques de Sá [Sá91] a prática do xadrez estimula pelo menos cinco capacidades do desenvolvimento cognitivo: raciocinar na busca dos meios adequados para alcançar um objetivo; organizar uma variedade de elementos para uma finalidade; imaginar concretamente situações futuras próximas; prever as prováveis conseqüências de atos próprios e alheios; e tomar decisões vinculadas à resolução de problemas.

Partos [Sá90a] enumerou as principais habilidades intelectuais desenvolvidas no aprendizado e prática do jogo de xadrez: a atenção e a concentração; o julgamento e o planejamento; a imaginação e a antecipação; a memória; a vontade de vencer, a paciência e o autocontrole; o espírito de decisão e a coragem; a lógica matemática; o raciocínio analítico e sintético; a criatividade; a inteligência; a organização metódica do estudo; e o interesse pelas línguas estrangeiras.

Sá divide a abordagem educativa da prática do xadrez em: a *pedagogia do xadrez*, quando o xadrez é adotado como matéria curricular, e a *pedagogia pelo xadrez*, quando o xadrez serve de suporte pedagógico para outras matérias [Sá94]. Um exemplo de uso de xadrez nessa última modalidade é o ensino de geometria usando o movimento do cavalo em tabuleiro de xadrez [Assu95].

Através de competições esportivas, o xadrez e sua prática, apresentam algumas características que facilitam a troca de experiências. Uma competição de xadrez, em geral, conta com a participação de:

- jogadores de variados níveis de força enxadrística;
- jogadores de diferentes faixas etárias;
- pessoas de ambos os sexos;
- pessoas portadoras de deficiências físicas.

A prática do xadrez, por suas características marcadamente intelectuais, é uma atividade que está sendo introduzida como meio de integração a grupos que normalmente encontram dificuldades em se integrar nas atividades esportivas comuns. Marques de Sá [Sá90a] aponta o uso do xadrez como terapia educacional, contribuindo para a reinserção familiar e social de crianças, adolescentes e adultos infratores em liberdade assistida.

Temos, no Brasil algumas experiências em ensino de xadrez para deficientes físicos (surdos-mudos - no Amazonas e no Rio de Janeiro - e cegos - no Rio de Janeiro, no Paraná e Minas Gerais). Estas experiências, infelizmente, caracterizam-se, em sua grande parte, por serem pouco abrangentes em termos de pessoas envolvidas e pela falta de continuidade. Um projeto pioneiro de ensino de xadrez a crianças denominado *Cuca Esperta* foi desenvolvido na cidade do Rio de Janeiro, no período de 1991 a 1992, envolvendo 1500 crianças inclusive menores de rua e surdos-mudos, sob coordenação da Prefeitura Municipal [Lour93].

O julgamento de uma posição de xadrez, processo intelectual que envolve a escolha de uma estratégia ou de um plano de jogo, que culmina na escolha de um lance, é complexo e instigante, requerendo capacidades cognitivas desenvolvidas e esforços de auto-superação. A utilização adequada e orientada do xadrez, dentro de princípios éticos e esportivos, num processo gradual e organizado, respeitando as limitações individuais, é um fator motivador para o desenvolvimento intelectual dos seus praticantes.

Apesar de tratar metaforicamente da guerra, o xadrez é um esporte, cuja prática possibilita, além do desenvolvimento das qualidades anteriormente citadas, uma socialização dos seus praticantes.

3.6 Etapas do Ensino e Aprendizado do Xadrez

Nos diversos livros de ensino de xadrez encontramos os passos básicos que constituem o ensino de xadrez [D'Ag 90][Lask75] [Sá93] [Trif94].

Dizemos que um aluno aprendeu a jogar xadrez se:

1. sabe as regras do jogo; e
2. consegue jogar uma partida inteira, isto é, consegue aplicar as regras do jogo até o final da partida.

O ensino de xadrez pode ser subdividido em etapas, variando a ordem de apresentação dos conceitos, conforme o método de ensino utilizado. Uma possível subdivisão de etapas para o ensino básico de xadrez baseado na agregação de conceitos afins e complexidade crescente é descrito a seguir:

a. O Objetivo do jogo

- Xeque-mate;
- Alternância de jogadas;
- Lance inicial das brancas.

b. O Tabuleiro

- Apresentação do tabuleiro;
- Colocação correta do tabuleiro;
- Casas brancas e negras;
- Dimensões do tabuleiro (número de linhas e de colunas);
- Conceitos geométricos: linha, coluna e diagonal;
- Centro.

c. As peças

- Tipos de peças (rei, dama, torre, bispo, cavalo e peão);
- Número de peças por lado;
- Movimentos das peças;
- Capturas e trocas;
- Xeques e defesas contra xeque (fuga, captura da peça atacante e interposição);
- Valor relativo das peças;
- Movimentos especiais (roque, grande-roque e *en passant*);
- Posição inicial das peças.

d. Noções Táticas e Conceitos de Finais

- Combinações simples;
- Finais Elementares (Rei e Dama contra Rei, Rei e Torre contra Rei, Rei e Par de Bispos contra Rei).

e. A Condução da Partida

- Exemplos de partidas simples;
- Reconhecimento de situações de vitória e de empate.

Ao final do aprendizado, o aluno deve saber o objetivo do jogo, as regras e as condições de término da partida.

3.7 Avaliação de Força de Jogadores de Xadrez

Os jogadores de xadrez (humanos e máquinas) apresentam vários níveis de força durante sua carreira esportiva. Hoje já é comum homens e máquinas se enfrentarem em competições enxadrísticas, havendo um interesse esportivo e científico em se avaliar a força desses jogadores.

Em 1970 Arpad Elo criou um método de avaliação estatística da força de jogo, baseado no desempenho em competições. Esse método associa a cada jogador um número, denominado *rating*, e é controlado pela FIDE [Karp84]. A aquisição de *rating* por um jogador se dá através da participação em competições com jogadores com *rating*, quando seu desempenho é avaliado segundo os padrões determinados pelo sistema Elo.

Considera-se a relação entre a força de jogo (categoria) e o *rating* conforme a tabela 1, baseado em informações obtidas em Karpov e Guik [Karp84] e Gil e Magem [Gil92].

Categoria	Rating
Grande-Mestre	>2500
Internacional	
Mestre Internacional	2400-2500
Mestre	2200-2400
Especialista	2000-2200
Jogador de torneio	1100-2000
Iniciante	< 1100

Tabela 1: Relação entre categoria e rating [Karp84] [Gil92]

A apresentação de uma bateria de exercícios é uma alternativa na avaliação da força de jogo de jogadores e programas de xadrez, representado pelo *rating*, que está se tornando comum. Gil e Magem, mestres de xadrez, apresentam uma série de posições divididas em níveis de dificuldade, variando de 1 (principiante), 2 (médio e baixo-médio) e 3 (mais complexo), cuja apresentação e aferição da resposta única e posterior consulta a uma tabela fornece o *rating* aproximado [Gil92]. O software de xadrez *Chessmaster 3000* apresenta três conjuntos de 10 problemas com o mesmo intuito, dando três chances ao jogador de encontrar a resposta correta [Ches91]. Uma opção interessante aparece no software de xadrez *Chessmaster 4000*, onde o aluno pode ter seu *rating* avaliado através de uma partida que lhe é mostrada entre dois grandes-mestres e lhe é questionado em certos momentos qual o lance que deve ser realizado, sendo , então, comparados os lances do aluno e os lances corretos e feita uma avaliação [Ches93].

O teste de *Bratko-Kopec* é uma série de 24 problemas de grande dificuldade e, quando aplicado, permite, através das análises de seus resultados, uma avaliação da força [Mars90]. O teste de Bratko-Kopec é amplamente usado em *benchmarks* de programas de xadrez em computador e sua principal vantagem sobre os outros testes é que ele considera não só uma única resposta correta mas também dá uma pontuação adequada para as outras conforme a situação.

3.8 Aspectos de Inteligência Artificial e Xadrez

O xadrez sempre despertou um grande interesse entre aqueles que estudam Inteligência Artificial. Babbage, Neumann, Turing, Shannon, entre outros, estiveram envolvidos diretamente na concepção ou implementação de uma forma automatizada de se jogar xadrez [Hofs89] [Shan50].

Peter Frey sintetiza essa motivação ao declarar que Claude Shannon

"acredita que o xadrez era um problema ideal para a experimentação da inteligência da máquina uma vez que o jogo é claramente definido em termos das operações permitidas (as jogadas legais) e do objetivo final (xeque-mate)"

[Frey83].

A explosão combinacional dos lances do xadrez impede uma solução baseada numa pesquisa exaustiva. Considerando-se que uma partida possui em média 40 lances e que em cada posição há em média 38 jogadas possíveis, chegamos a 10^{120} posições [Bonn85].

Esse número, conhecido como *número de Shannon*, é superior ao número de átomos estimados no Universo [Cole94]. Além disso, mesmo que fosse possível armazenar todas as posições, teríamos o problema adicional não trivial de decidir para cada posição qual(is) o(s) melhor(es) lance(s) a ser(em) escolhido(s).

Como não se descobriu um algoritmo polinomial⁷ que garanta a vitória da máquina, a automatização de jogos, como xadrez, damas e go, é um dos domínios da

⁷ Na literatura consultada não há indicação da existência desse algoritmo

Inteligência Artificial. No caso do xadrez a pesquisa divide-se em três ramos básicos: pesquisa adiante utilizando força-bruta, pesquisa adiante utilizando cortes heurísticos, e sem pesquisa adiante [Hofs90]. Outra corrente trata o problema da escolha da jogada como um problema de reconhecimento de padrões, associando métodos de jogo apropriados a cada padrão [Barr81]. Nesta linha trabalham pesquisadores como Bratko, Kopec e Michie [Brat90]. Barr e Feigenbaum salientam que a busca não pode ser eliminada totalmente pois até mesmo jogadores humanos realizam alguma busca durante o jogo. Uma nova linha de pesquisa utiliza *redes neurais* para avaliar as jogadas [Shar91], sendo usada no estudo de finais de partidas.

O xadrez é dito um *jogo de informação completa*, pois os dois oponentes possuem informação completa sobre a disposição das suas peças e das do adversário [Brat90]. Segundo assinalam Pachman e Kuhnmond, no jogo de xadrez as regras são unívocas, a posição inicial é equilibrada e não há fatores desconhecidos [Pack82]. O xadrez é dito *decidível*, isto é, uma partida, em função das regras de repetição de lances, termina em vitória das brancas, vitória das negras ou empate, após um número finito de lances [Karp84].

Jogos do tipo informação completa com lances alternados entre dois adversários podem ser representados por uma *árvore de jogo* [Brat90]. Entre tais jogos citam-se damas, xadrez e go. Os nós correspondem a posições e os arcos a jogadas. Um nó raiz representa a situação inicial do jogo e as folhas as posições terminais.

A automação do jogo de xadrez consiste em fazer um programa que:

1. gere, a partir de uma posição do jogo, um lance legal, isto é, dentro das regras do jogo e,
2. além disso, que esse lance seja um lance forte.

A geração de lances legais é facilitada pela existência de algoritmos que descrevem o movimento de cada peça. Após essa geração é necessário aplicar-se as regras do xadrez para obtermos a lista de lances legais em uma determinada posição.

A necessidade de que o lance seja forte significa que o mesmo deve ser do mesmo nível gerado por um forte jogador, por exemplo, um grande-mestre ou um campeão mundial. Atingir o nível de qualidade de jogo de um grande-mestre é um objetivo atingido por poucos softwares de jogo de xadrez. Para objetivos pedagógicos é suficiente e desejável que o software de jogo de xadrez permita selecionar níveis de força de jogo, por exemplo, desde o de um principiante (ou um pouco melhor que isso) até o de um jogador médio.

Normalmente os softwares de jogo de xadrez encontrados no mercado (*Chessmaster*, *Sargon*) permitem uma graduação da força de jogo [Ches93] [Sarg93]. Isto possibilita ao usuário escolher o nível de jogo que lhe convém.

A geração de lances fortes pode ser obtida de duas formas distintas:

1. pela consulta a banco de dados sobre os lances iniciais (abertura) ou a banco de dados sobre posições de reduzido número de peças no tabuleiro (finais);
2. pela aplicação de um algoritmo.

Considerando-se que o banco de dados possua informações corretas, a consulta resulta ao jogador que está em vantagem escolher o melhor caminho para a obtenção da vitória, e àquele que está em desvantagem, a opção por linhas de maior resistência, que prolonguem a luta.

A idéia de consulta de aberturas provem de uma prática, já consagrada nos treinamentos de xadrez, onde jogadores preparam-se consultando livros e revistas

especializadas, procurando as melhores linhas de jogo contra os futuros adversários. A extensão dessa idéia, aos programas que jogam xadrez, resultou na criação de bancos de dados sobre as aberturas e suas principais linhas de jogo (*ChessBase, NICBase*).

Os bancos de dados sobre aberturas, também chamados *books*, possuem, normalmente, além dos lances fortes e suas continuações corretas, lances fracos e continuações vantajosas para um dos lados. Esses lances compõem o que se chama *teoria das aberturas* e são selecionados de partidas de jogadores fortes, normalmente grandes-mestres.

Consultando-se, então, um banco de dados sobre aberturas têm-se acesso à experiência de jogadores mais fortes, e não há perda de tempo na escolha de lances. Quando o adversário envereda por uma linha de jogo considerada fraca, o banco de dados de abertura fornece a continuação considerada vantajosa.

A utilização de lances catalogados em books pode levar a resultados inusitados. Dois problemas podem surgir quando o programa de xadrez está utilizando um lance do book:

1. a avaliação do lance está incorreta: os books são formados por jogadores experientes, porém sujeitos a erros e a posição resultante da aplicação deste lance pode resultar numa seqüência vantajosa para o adversário;
2. o lance sugerido não é aquele que o programa de xadrez escolheria caso o book estivesse fechado.

A criação de banco de dados de finais de partidas originou-se dos trabalhos de Strolein (1970) sobre finais de Rei e Torre contra Rei e Cavalo (RTRC), de Komissarchik e Futer (1974) sobre finais de Rei, Dama e Peão em g7 contra Rei e Dama (RDPg7RD) e de Thompson (1977), sobre finais de Rei e Dama contra Rei e Torre (RDRT) [Kope90]

[Alli91]. Posteriormente Thompson estendeu seu trabalho para incluir todos os finais de 5 figuras.

Esse trabalho exaustivo de montar todas as posições possíveis de um determinado final e avaliá-las resultou num maior conhecimento desta fase do jogo. Por exemplo, estudos por computador alteraram o conhecimento de finais de Rei e Par de Bispos contra Rei e Cavalo, que hoje considera-se ganho pelo lado em vantagem e antes pensava-se ser empate [Kope90]. Isso fez com que a FIDE modificasse as regras de condução para essa classe de posições.

Observa-se, na prática, que existem poucos lances registrados em bancos de dados se compararmos ao número total de lances possíveis no jogo de xadrez. Sendo assim é imprescindível a um sistema que se proponha a jogar xadrez um algoritmo para a geração de lances.

3.9 O Modelo de Shannon

Em seu trabalho pioneiro *A Chess Playing Machine*, Shannon propôs duas estratégias básicas para implementação de softwares de xadrez: a estratégia A e a estratégia B [Shan50]. A estratégia A, também conhecida como *método da força bruta*, caracteriza-se por uma pesquisa exaustiva de todos os lances até uma certa profundidade. A estratégia B, conhecida como *pesquisa seletiva*, caracteriza-se por uma pesquisa informada, onde em cada posição, apenas alguns lances são pesquisados [Pack82].

O modelo de Shannon é composto por um módulo gerador de lances legais e um mecanismo de pesquisa em árvore, avaliando os nós finais, com *funções de avaliação* (FA) [Shan50]. A aplicação do algoritmo *minimax*, proposto por Oskar Morgenstein e John von Neumann no estudo da teoria geral dos jogos, possibilita a escolha do melhor lance [Bonn85] [Hsu90a].

O processo funciona basicamente gerando-se, a partir de uma posição, todos os possíveis lances e, a partir dessas posições derivadas, gera-se novamente todos os lances e assim sucessivamente até um certo número de lances. Ao final são assinalados escores numéricos às posições terminais, aplicando-se a função de avaliação, e trabalha-se das posições finais até a posição inicial, aplicando-se o algoritmo minimax para a escolha do melhor lance inicial [Hsu90b].

Cada jogada gerada pelas brancas ou negras é chamada de *meia-jogada* na terminologia do xadrez ou *ply* na terminologia da ciência da computação [Hsu90b]. A utilização do algoritmo *alfa-beta*, uma modificação do algoritmo minimax, possibilita ignorar linhas de jogo irrelevantes, analisando apenas um sexto do total das posições [Hsu90b] [Ledo94].

3.9.1 A Função de Avaliação

A função de avaliação, também conhecida como função de avaliação estática, procura expressar através de números a realidade do jogo naquele instante, isto é, as perspectivas de um jogador e de seu adversário. A mesma função de avaliação é usada tanto para as brancas quanto para as negras pois no xadrez há simetria de regras e objetivos para os dois oponentes.

Alguns jogos simples como o *nim* possuem função de avaliação perfeita, contudo, jogos como damas e xadrez, por sua complexidade, não possuem tal função, servindo a mesma apenas de estimativa [Barr81]. Como não há funções de avaliação perfeitas é necessário pesquisar adiante para compensar os erros da função de avaliação.

No xadrez a função de avaliação utilizada possui dois componentes: material e posicional [Karp84]. O componente material traduz a soma dos valores relativos das peças em determinada posição. O componente posicional varia conforme a fase de jogo;

são citados o domínio do centro, a mobilidade das peças, a segurança do rei, o domínio de linhas abertas, entre outros.

Segundo Laurière [Laur90] uma FA é um polinômio finito do tipo

$$F = a.B + b.R + c.M + d.C + e.P + f.A$$

onde a , b , c , d e f são coeficientes numéricos cujos valores são decididos pelo programador, B é o balanço material, R é a segurança relativa do rei, M é a mobilidade das peças, C é o controle do centro, P é a estrutura de peões e A é a possibilidade de ataque.

A utilização da função de avaliação traz dois problemas básicos que são a identificação de que fatores deverão ser apontados e como os respectivos coeficientes serão ajustados. Arthur Samuel criou um programa de computador para o jogo de damas que modificava a função de avaliação, ajustando parâmetros a fim de que o programa aprendesse [Samu59]. A transposição direta desse método criado para o jogo de damas para o xadrez não traz resultados satisfatórios, porque existe uma grande diferença de complexidade entre esses dois jogos. Uma possível solução é a utilização de funções de avaliação mais específicas para cada fase do jogo. Alguns programas, como o *Deep Thought*, programa de xadrez que joga a nível de grande-mestre, possuem um ajuste automático dos parâmetros de suas funções de avaliação baseados na experiência de jogos de grandes-mestres [Hsu90b]. Esta técnica de ajuste é automatizada pois o *Deep Thought* possui funções de avaliação com mais de 120 parâmetros, superando o ajuste manual, característico de sistemas anteriores, que é um processo muito demorado e pouco eficaz [Hsu90a].

3.9.2 A Busca

Uma questão básica nos algoritmos que implementam o modelo de Shannon é quando interromper a busca. Se a pesquisa em árvore parar no meio de uma série de trocas a

aplicação da função de avaliação não refletirá a verdadeira correlação de forças entre as peças brancas e as negras.

O *efeito horizonte*, descrito primeiramente por Hans Berliner, ocorre em certas posições quando a busca termina e a função de avaliação é aplicada. Então, nas palavras de Berliner, “a realidade do programa existe em termos da saída da função de avaliação usada, e qualquer coisa que não é detectável em tempo de avaliação não existe no que diz respeito ao programa” [Barr81]. Isso significa, na prática, que uma busca com uma profundidade fixa pode conduzir à derrota, semelhante ao indicado por aforismas usados por jogadores experientes ao analisarem posições críticas de que “quem vê mais, ganha” ou “a vitória cabe a quem vê um lance a mais”. Para evitar problemas como os provocados pelo efeito horizonte, Greenblatt desenvolveu o princípio da busca secundária [Barr81]. Quando uma jogada é considerada a melhor, ela é avaliada dois ou mais *plies* para confirmação, e caso não seja satisfatória é escolhida outra jogada.

As limitações físicas do computador (velocidade do processador e memória) e o tempo médio requerido para a resposta (em competições de alto nível, em torno de três minutos) limitam a pesquisa da árvore a um número limitado de lances analisados em cada situação. A pesquisa a uma profundidade de $p+1$ *plies* depende de duas a dez vezes mais nós que uma pesquisa de profundidade p [Newb79].

Logo é necessário implementar políticas de busca mais eficientes. Os softwares de xadrez mais eficientes pesquisam linhas de jogo - ramificações - procurando as seqüências forçadas de lances, caracterizadas por trocas, sacrifícios, ameaças de mate, xeques e promoção de peão. As linhas de jogo são pesquisadas até serem encontradas as posições denominadas por Turing de *posições mortas*, ou seja, posições estáveis [Kain90].

Número de *Plies*

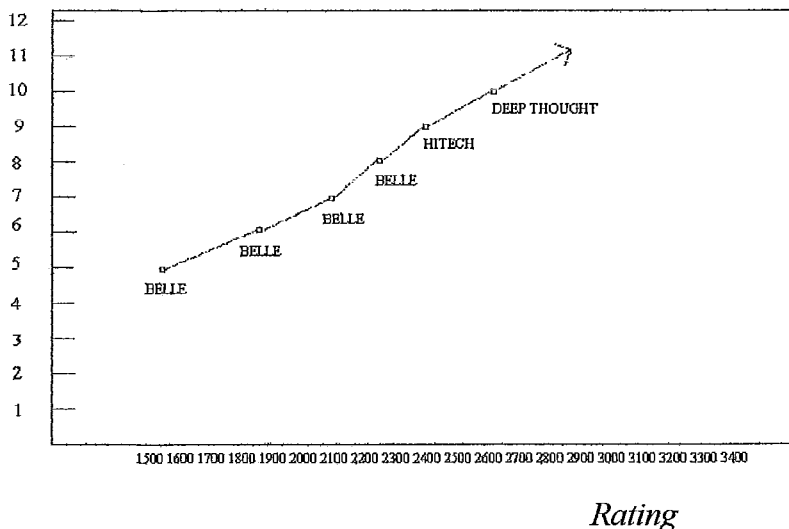


Figura 27: Relação entre número de *plies* e *rating* [Hsu90b]

Outra consequência dos estudos de Newborn é que podemos criar níveis de jogo para um software de xadrez controlando a profundidade da árvore de pesquisa. Esse controle pode ser feito por interrupção do lapso de tempo ou por software, limitando a profundidade a ser pesquisada da árvore.

3.10 Conclusões

A importância do xadrez no desenvolvimento intelectual de crianças é objeto de pesquisas e faz com que governos implantem a opção do xadrez na escola. A inserção do xadrez nas escolas, além de benefícios à capacidade de aprendizagem do aluno, possibilita contato com uma atividade esportiva e predominantemente cultural, que poderá acompanhá-lo por toda a vida. A prática e o estudo continuados propiciam inter-relações com outros

3.10 Conclusões

A importância do xadrez no desenvolvimento intelectual de crianças é objeto de pesquisas e faz com que governos implantem a opção do xadrez na escola. A inserção do xadrez nas escolas, além de benefícios à capacidade de aprendizagem do aluno, possibilita contato com uma atividade esportiva e predominantemente cultural, que poderá acompanhá-lo por toda a vida. A prática e o estudo continuados propiciam inter-relações com outros campos do saber humano, como, por exemplo, levando o aluno à aquisição de princípios lógicos e de conceitos matemáticos, além de contatos com outros idiomas. Essas potencialidades, mesmo que não percebidas explicitamente, possibilitam ao jogador de xadrez vantagens comparativas na aquisição de novos conhecimentos. A escolha de adversários de nível adequado supera a idéia de que o xadrez é difícil; dentro de um grupo heterogêneo, o jogador encontrará companheiros que propiciem a prática do jogo.

O método básico de treinamento em xadrez baseia-se em análises de partidas e posições, de onde procura-se tirar ensinamentos que permitam em posições futuras aplicar-se uma analogia. A prática indica que o treinamento orientado por alguém mais experiente leva o aluno a evoluir mais rapidamente.

O jogo de xadrez é univocamente definido por regras. Esta formalização permite a automação de programas de jogo de xadrez. Os softwares de xadrez implementando o modelo de Shannon têm atingido desempenhos de jogo de grandes-mestres. Os programas mais fortes como o *Deep Thought*, agora rebatizado de *Deep Blue*, utilizam uma estratégia híbrida, combinando as estratégias A e B de Shannon, realizando uma pesquisa exaustiva de todos os lances para um número fixo de *plies* e percorrendo variantes (ramificações) forçadas descritas anteriormente.

A crítica que se faz aos programas que utilizam o modelo de Shannon é que sua eficiência baseia-se em poucos conhecimentos de xadrez. Conforme assinalam Donskoy e Schaeffer "não é incomum observar um melhor desempenho em um programa com menos conhecimento" [Dons90]. Michie observa que o computador colabora com a força bruta e não com idéias interessantes, que é uma característica dos jogadores fortes [Mich90]. A utilização de função de avaliação difere significativamente dos métodos de análise usados por jogadores experimentados de xadrez.

Estudiosos, como Hofstadter, sugerem que significativos progressos serão alcançados nessa área quando forem unidos o conhecimento heurístico característico dos grandes jogadores com a grande velocidade e exatidão com que os computadores analisam adiante [Hofs90].

A literatura sobre softwares de xadrez é ampla. A experiência de se conseguir um software campeão do mundo em xadrez ultrapassou 40 anos, sendo considerada por alguns cientistas de computação, como McCartney [Mcca90] e Coles [Cole94] e, também por alguns enxadristas, como Kasparov [Font94], como a mais duradoura experiência científica da humanidade. Um passo significativo foi dado em maio de 1994 quando o jogador considerado o melhor da atualidade, Garry Kasparov, perdeu um *match*⁸ composto de duas partidas para o software de xadrez *Chess Genius 2.9*, instalado numa plataforma PC, dotada do microprocessador *Pentium*, no ritmo de 25 minutos por partida [Font94] [Ledo94].

A área de produção de software de xadrez tem se tornado muito competitiva comercialmente destoando da sadia competição acadêmica. Isso dificulta o acesso a informações mais detalhadas de tais softwares apresentando omissões importantes como, por exemplo, a função de avaliação usada e como foi ajustada a cada situação.

⁸ Match - série de partidas entre dois adversários.

CAPÍTULO 4

UM TUTOR INTELIGENTE DE XADREZ

Neste capítulo descreve-se uma motivação para a criação de um tutor inteligente para o ensino de xadrez a iniciantes, são mostrados os requisitos para uma arquitetura de tal tutor, propostos uma arquitetura e um possível cenário de interação com o aluno e, também, apresentado um modelo de aluno, relacionado com as demandas desse trabalho.

4.1 Introdução

O computador atualmente está presente em quase todos os assuntos relacionados à prática do xadrez. Jogadores de alto nível preparam-se para as competições utilizando bancos de dados específicos e consultando livros e revistas em forma de disquetes e CD-ROMs que estão disponíveis no mercado. Microcomputadores dedicados dotados de softwares de jogo de xadrez com a força aproximada de mestre internacional (*Mephisto*, *Saitek*) auxiliam também no treinamento.

Começam a surgir no mercado produtos com opções de ensino normalmente para jogadores com um certo grau de experiência. Contudo a área de ensino básico encontra-se, ainda, num estágio primário. Alguns programas comerciais de xadrez como o *Chessmaster 4000* apresentam a modalidade tutor como uma opção de aprendizagem [Ches93], composto de um número reduzido de posições que são apresentadas ao aluno sem uma preocupação didática maior. O microcomputador dedicado de xadrez *Kasparov's Gambit* possui um módulo chamado professor de xadrez, constituído de 125 lições sob a forma de um hipertexto, uma biblioteca de aberturas e 500 partidas anotadas [O'Co93].

Os programas comerciais de xadrez incorporam vários recursos gráficos que visam facilitar o usuário a escolher o lance, como, por exemplo, apontar as peças do adversário que podem ser capturadas e para cada peça do usuário, indicar os lances legais. Outra característica presente na maioria dos programas comerciais é a possibilidade do jogador pedir sugestões dos melhores lances na posição e solicitar uma avaliação do jogo [Ches91] [Ches93] [Sarg91]. A sugestão do melhor lance realizada pelo programa tem um efeito didático limitado pois essa sugestão é feita na notação algébrica e não é seguida

de uma explicação plausível em uma linguagem inteligível para o iniciante. Podemos questionar, também, se o acesso direto ao melhor lance resposta, sobrepondo-se ao trabalho intelectual de análise da posição, será de utilidade prática ao aluno quando ele se deparar no futuro com posições análogas. A avaliação da posição feita pelo programa resume-se a dar uma pontuação que varia de programa a programa e que difere da avaliação feita por jogadores, que é seguida de comentários, que explicam a correlação de forças na posição.

Um progresso nessa área evidencia-se com o aparecimento dos primeiros tutores comerciais como o *The Tasc Chess Tutor*. Esse tutor já apresenta algumas características desejáveis para desempenhar a função a que é destinado: bom número de problemas, esquemas de ajuda, boa interface e uma divisão por assuntos [Tasc91]. Entretanto trata-se de um tutor simples sem as características anteriormente descritas de um tutor inteligente.

Nos softwares de xadrez tradicionais o tutor é acionado pelo aluno e a tutoração mostrada resume-se à apresentação de noções elementares, tais como os movimentos das peças e formas de capturas. Em geral esses tutores agem sempre da mesma forma respondendo de uma maneira igual, *agindo genericamente*, independente da natureza do problema e dos graus de conhecimento e experiências do aluno. O tutor agiria melhor se entendesse a complexidade do problema proposto e analisasse os eventuais erros do aluno, *agindo contextualmente* em cada situação. A tutoração acionada pelo aluno tem validade pedagógica, entretanto, um esquema mais eficaz de tutoração seria atingido se o programa pudesse dar sugestões, mesmo quando não solicitado, tal como acontece com os tutores humanos. Essa idéia implica em que o tutor deve estar ativo em toda a sessão, monitorando cada passo do aprendiz.

Surge, então, a idéia de termos tutores inteligentes nessa área. Burton e Brown foram dois dos primeiros a sugerirem o uso de um tutor inteligente no ensino de xadrez [Burt82]. Clancey também sugere um tutor de xadrez [Clan87a]. Esses autores dão sugestões de como agiria um pretenso tutor inteligente de xadrez, não propondo algo mais substancial, como por exemplo, uma arquitetura ou formas de representação do conhecimento específico em xadrez.

Alguns fatores facilitam o projeto de um tutor inteligente de xadrez: a formalização das regras; a existência de livros, revistas e arquivos em computador onde são mostrados e discutidos as formas básicas de conhecimento em xadrez; a padronização

de representação desse conhecimento através de uma representação unificada, que é a notação algébrica; e a existência de critérios de avaliação que possam constatar o progresso do aluno. Por outro lado o desconhecimento de uma metodologia formal de treinamento constitui uma dificuldade a ser superada uma vez que um tutor inteligente precisa ter explícitos o conhecimento do professor.

Uma primeira abordagem nos sugere trabalhar com estruturas que representem algum tipo de conhecimento importante na prática do xadrez combinadas adequadamente com o uso de técnicas de ensino/aprendizagem que são comumente empregadas por técnicos e treinadores [Nett93]. O ensino de xadrez baseia-se fortemente na utilização de exemplos [Kope87]. É comum o treinamento de xadrez usando exemplos baseando-se na crença por parte de especialistas de xadrez de que a habilidade tática melhora com a prática e o estudo. Considerando que a prática do xadrez é essencialmente uma prática cognitiva, a assertiva de que o treinamento orientado pode levar a uma evolução encontra eco em trabalhos recentes em Psicologia em que se mostra que é possível desenvolver as habilidades cognitivas, como é discutido, por exemplo, em Fonseca [Fons94].

No xadrez as classes de estruturas que apresentam algum conhecimento importante que pode servir de exemplo e ser apresentado e discutido com o aluno são as combinações, os finais e as partidas clássicas. A prática tradicional de treinamento em xadrez sugere mostrar posições divididas por temas, partindo das posições mais fáceis até atingir as mais complexas. O aluno então é cobrado em declarar a solução de uma combinação (ou de um problema) que reside em nomear o lance ganhador dentro de um lapso de tempo estipulado de antemão e conhecido pelo jogador. Normalmente interessa a seqüência correta de jogadas após o lance ganhador, o que evidencia que aquele que solucionou o problema previu a repercussão de sua jogada. A apresentação de partidas clássicas é um recurso de treinamento que procura envolver o aluno, normalmente no lado vencedor, e faz-se com que ele responda quais os melhores lances em posições críticas.

Propõe-se, então, um tutor inteligente de xadrez voltado para a apresentação e solução de problemas, estimulando a visão tática do aluno, bem como a ativação de diversas habilidades cognitivas relacionadas à prática do xadrez. O tutor utiliza-se de conhecimentos já estabelecidos como verdadeiros e úteis referenciados nas obras clássicas de ensino desse jogo. Esse tutor é caracterizado como inteligente por poder resolver os mesmos problemas propostos ao aluno, por direcionar a tutoração adaptando-se às características individuais do aluno e por sua capacidade de explanação.

4.2 Objetivos

O objetivo do Tutor Inteligente de Xadrez a que se propõe neste trabalho é ensinar a jogar xadrez a iniciantes. Esse objetivo é subdividido em 3 etapas de ensino:

- I. regras básicas e movimento das peças;
- II. solução de problemas simples;
- III. condução de uma partida.

Para atingir os objetivos propostos o Tutor Inteligente de Xadrez deve:

- mostrar posições e partidas de forma compreensível e motivadora para o aluno;
- apresentar os problemas de dificuldade apropriada, individualizando a tutoração dentro das potencialidades de cada aluno;
- diagnosticar os prováveis motivos dos erros do aluno;
- possibilitar apoio ao aluno em suas questões, dando oportunidades a que o aluno se supere;
- ser capaz de encontrar uma solução para os problemas propostos e explicar a solução aos alunos;
- ser capaz de realizar um histórico, onde serão guardados os sucessos e insucessos do aluno;
- engajar o aluno na descoberta de novos conhecimentos e na superação de seus pontos fracos;
- possibilitar a apreensão de novos conhecimentos, tais como posições, partidas e conselhos, expandindo a abrangência do tutor.

Ao final da aprendizagem o aluno deve estar apto a conduzir uma partida de xadrez, aplicando corretamente suas regras, tendo tido contato com a terminologia básica e reconhecendo as condições de término do jogo.

4.3 A Arquitetura

A arquitetura do Tutor Inteligente de Xadrez é composta de cinco módulos: Controle, Modelo do Aluno, Treinador, Conhecimento Especialista em Xadrez e Interface.

A figura 28 mostra a arquitetura proposta para o Tutor Inteligente de Xadrez.

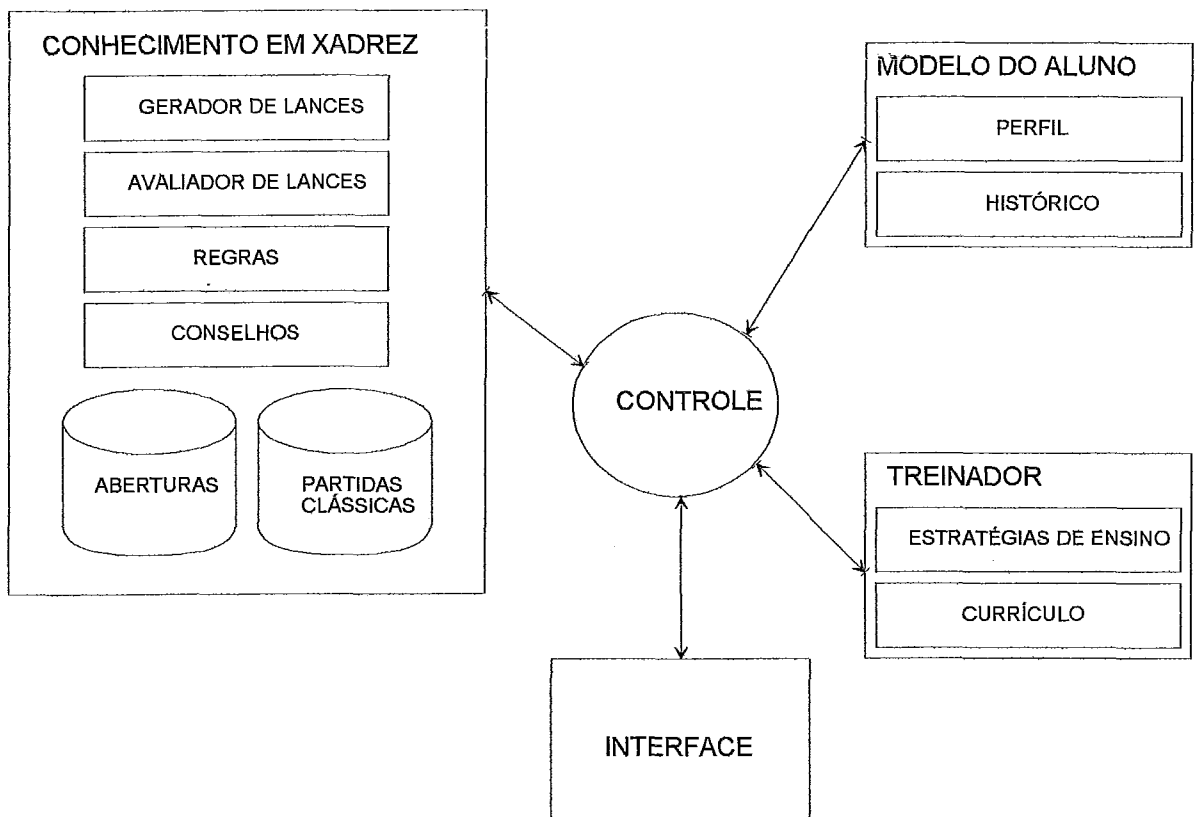


Figura 28: A arquitetura do Tutor Inteligente de Xadrez

4.3.1 Controle

O Controle gerencia o ciclo de tutoração. As funções principais do Controle do Tutor Inteligente de Xadrez são:

- manter o Modelo do Aluno;
- consultar o Treinador para a manutenção da interação com o aluno;
- possibilitar acesso aos esquemas de ajuda;
- consultar o Conhecimento Especialista em Xadrez;
- ativar a Interface para mandar mensagens ao aluno e dele receber informações;
- determinar o tempo de cada sessão.

O Controle utiliza-se de regras de produção para representação. A figura 29 apresenta uma regra de produção do Controle.

REGRA DE CONTROLE 1 Controle do Tempo de Sessão

SE tempo-de-sessão é maior ou igual a 40 minutos

ENTÃO Encerre a sessão

Figura 29: Uma regra usada pelo Controle

O Controle possibilita acesso a esquemas de ajuda para auxiliar o aluno. Os esquemas de ajuda apresentam os níveis mostrados na tabela 2.

1	Geral	Dá um conselho genérico, aplicável na maioria das posições
2	Situação	Apresenta o objetivo da combinação (ganho ou empate)
3	Específica	Mostra as peças atuantes e sugestões baseadas na posição
4	Analogia	Mostra uma posição análoga e sua resposta
5	Resposta	Apresenta o lance resposta
6	Solução	Apresenta a solução completa e comentada até a posição final

Tabela 2: Níveis de assistência do Tutor Inteligente de Xadrez

Quando o aluno solicita assistência, o tutor inteligente acessa sempre o nível mais elevado não consultado. A justificativa educacional para essa assistência em níveis é que ela mostra o problema em estágios de complexidade decrescentes, que é a mesma técnica

utilizada por tutores humanos para auxiliar o aluno. Pragmatically, a efetividade da assistência do tutor baseia-se em dois aspectos:

- a assistência dada pelo tutor é importante para que o aluno atinja o objetivo imediato, que é responder à questão proposta adequadamente;
- a instanciação a outro nível de assistência permite ao aluno reiniciar o processo de análise da posição, então apresentada de uma forma mais simples, e, com o tempo, chegar à solução do problema.

Ao apresentar um problema, considera-se que o aluno tem êxito em suas ações (e conseqüentemente o tutor também), se ele consegue responder à questão antes que o nível de assistência 5, que é a resposta do problema apontada pelo tutor, seja ativado. Pretende-se, também, que o aluno adquira um método de análise de posição, até que ele atinja um nível de maturidade tal que sua própria experiência dite melhores métodos de análise.

4.3.2 Modelo do Aluno

O modelo do aluno proposto é uma estrutura híbrida entre o modelo overlay e a modelagem por crenças. Este modelo, descrito por Clark e McCartney e empregada no EMTutor usado para treinamento em primeiros socorros, caracteriza-se por associar uma estrutura curricular, composta de quesitos e pré-requisitos, considerando o conhecimento do aluno como um conjunto de crenças [Clar93]. O erro do aluno é creditado à ausência de algum conceito e procura-se na estrutura curricular pré-requisitos ao ponto em questão para serem rememorados, como é feito nos tutores que usam o modelo overlay. A princípio, cada tópico é considerado ser de insuficiente evidência ao aluno. A tutoração mudará esse estado e quando o estudante demonstra conhecer um conceito em 75%, o conceito é considerado conhecido e caso contrário, não conhecido.

As funções do Modelo do Aluno são:

- representar o nível de conhecimento do aluno;
- manter um histórico, onde são registrados os sucessos e insucessos do aluno.

O Modelo do Aluno é representado por um *frame* (moldura), prática usual de representação do modelo do aluno, conforme aponta Lian [Lian90]. O histórico é representado por uma cópia do currículo onde são marcados os temas e problemas resolvidos pelo aluno. O modelo do aluno é mostrado na figura 30, instanciado para um exemplo.

FRAME: Aluno
nome: Tatiana
idade: 17
força_de_jogo: 1930
grau_de_aprendizado: 3

Figura 30: Exemplo de Modelo do Aluno

Do ponto de vista educacional, essa representação procura captar informações importantes do aluno, como sua força de jogo e através do histórico, são representados parte de suas vivências. O histórico possibilita ao tutor referenciar-se a questões que não foram resolvidas pelo aluno, engajando-se no trabalho de fazer com que o aluno supere os seus erros, e, também, possibilita rememorar posições já estudadas, reforçando o aprendizado e incentivando o aluno quando é necessário dar um apoio psicológico ao aluno mostrando uma posição já por ele solucionada, como parte de um reforço em sua auto-estima.

4.3.3 Treinador

O Treinador representa técnicas de ensino que procuram conduzir melhor a tutoração. As funções do Treinador são:

- representar conhecimentos sobre como deve ser ensinado determinado assunto;
- sugerir a ordem adequada em que vão ser ensinados os tópicos.

O Treinador é composto de Estratégias de Ensino e Currículo.

4.3.3.1 Estratégias de Ensino

As Estratégias de Ensino procuram representar o conhecimento geral de professores no ensino em vários campos. As principais funções das Estratégias de Ensino são:

- adequar o nível da pergunta ao nível do aluno;
- escolher adequadamente o tema a ser ensinado ao aluno;
- saber o momento de trocar o tema;
- ativar a rememoração de um tema.

As Estratégias de Ensino são representadas por regras de produção, e foram baseadas no tutor inteligente GUIDON [Clan87b] e no assistente inteligente WEST [Burt82]. A figura 31 apresenta uma estratégia de ensino.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 4 Rememoração do Tema

- SE 1) Grau de dificuldade do problema é Fácil, e
 2) Resposta do aluno é Incorreta, e
 2) Número de respostas incorretas seguida > 2

ENTÃO Reapresente o tema

Figura 31: Uma estratégia do treinador

As Estratégias de Ensino sugerem políticas de escolha de temas que dependem do desempenho do aluno. O tema é escolhido pelo critério de facilidade, isto é, aqueles que são pré-requisitos de outros temas são escolhidos prioritariamente. O tema é avaliado pelo desempenho na solução de posições.

O critério proposto de avaliação de posição é o acerto da pergunta dentro do prazo de tempo estipulado. O acesso à assistência dilata esse prazo. O prazo mínimo estipulado é de um minuto para questões de grau de dificuldade fácil, dois minutos para os médios e três minutos para os difíceis. Diversas regras de tutoração estão relacionadas com o incremento do nível do problema a ser mostrado ao aluno. O critério de avaliação do tema é a solução de 75% dos problemas fáceis associados ao mesmo, e aí é escolhido

um novo tema. Um novo tema começa sempre a ser cobrado ao aluno pelas posições mais fáceis.

4.3.3.2 Currículo

O Currículo é uma estrutura organizada de tal forma que reflita as experiências acumuladas de ensino/aprendizagem em xadrez para iniciantes. O Currículo é representado por um grafo de precedência, baseado em Le [Le93]. A figura 32 apresenta um trecho do currículo.

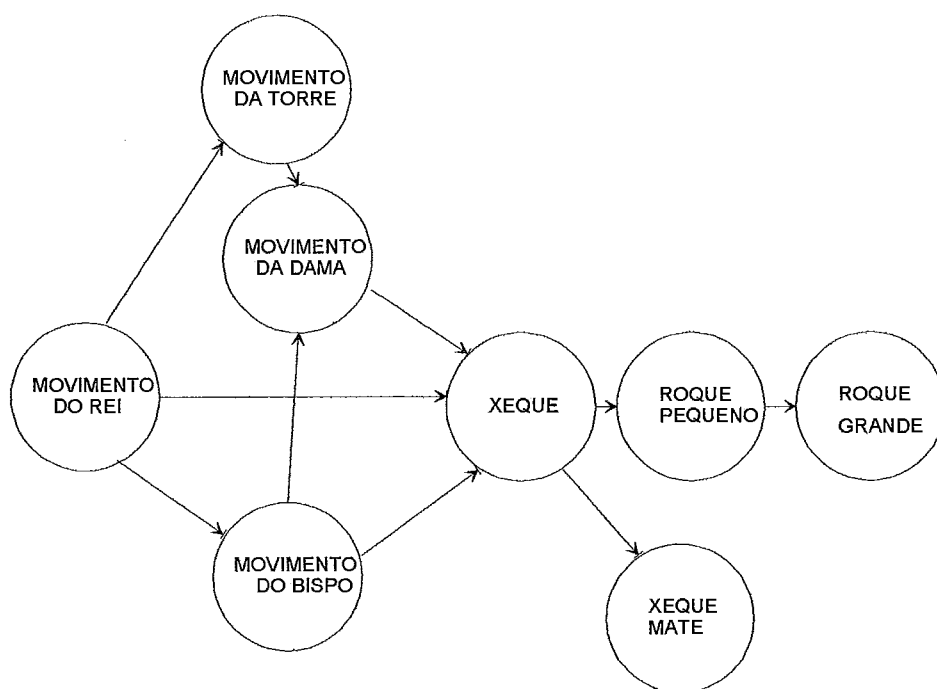


Figura 32: Trecho da representação curricular

Os nós representam temas a serem apresentados aos alunos. Associado a cada nó, estão listas de posições, com graus de dificuldades fáceis, médios e difíceis. As fontes básicas de posições e partidas utilizadas nesse trabalho são autores clássicos de livros de ensino de xadrez, como Averbach e Beilin [Aver74], D'Agostini [D'Ag90], Lasker

[Lask75] e Trifunovic e Vukovic [Trif94]. O Tutor Inteligente de Xadrez apresenta, também, numerosas posições de autoria própria e outras, que por serem bastante comuns, não foi possível referenciar o autor.

As posições são armazenadas no baseadas no padrão SAN (Standard Algebraic Notation), descrito por J. Edwards, usados internacionalmente para trocas de informações em xadrez [Edwa94].

4.3.4 Módulo Especialista em Xadrez

O Módulo Especialista em Xadrez é a base de conhecimento que permite saber se a jogada dada pelo aprendiz é válida, avaliar a força dessa jogada e, também, dar sugestões de lances e estratégias. O Módulo Especialista em Xadrez compõe-se de seis elementos: Gerador de Lances, Avaliador de Lances, Regras, Conselhos, Aberturas e Partidas Clássicas.

4.3.4.1 Gerador de Lances

A função do Gerador de Lances é para cada posição gerar a lista de lances legais. Nesse tutor o Gerador de Lances é um conhecimento opaco ao aluno e tem como função responder quais os lances possíveis e apontar a irregularidade de um lance.

4.3.4.2 Avaliador de Lances

O Avaliador de Lances retorna para cada lance da lista de lances legais um valor numérico correspondente à força do lance, conforme avaliado pela função de avaliação.

4.3.4.3 Regras

Regras permitem ao tutor explicitar como se joga xadrez e estão representadas por regras de produção, como, por exemplo a mostrada na figura 33.

REGRA DE XADREZ 1 Regra de Empate por Insuficiência de
Material para Dar Mate
SE 1) um lado possui somente o rei, e
2) o outro lado possui somente o rei
ENTÃO situação-do-jogo é empate

Figura 33: Uma regra do xadrez

4.3.4.4 Conselhos

Conselhos são conhecimentos gerais e específicos sobre aplicação de regras, aberturas, armadilhas, combinações e finais. Conselhos são representados por regras de produção, como a que é mostrada na figura 34.

CONSELHO DE ABERTURA 3 Conselho na Abertura para Realizar
o Roque
SE 1) fase de jogo é abertura, e
2) número de lances > 5, e
3) roque é uma jogada possível
ENTÃO Emita conselho "Procure rocar o mais breve possível"

Figura 34: Um conselho sugerindo o roque

4.3.4.5 Abertura

Aberturas constituem-se conhecimento sobre as formas mais comuns de se iniciar uma partida de xadrez de brancas (aberturas) e de negras (defesas). As aberturas e defesas são representadas por uma lista de lances, do tipo

(Ruy-Lopez, e4,e5,Cf3,Cf6,Bg5)

onde a cabeça representa o nome da abertura ou da defesa e o restante da lista os lances característicos.

4.3.4.6 Partidas Clássicas

Partidas clássicas são partidas mostradas ao longo do aprendizado como forma de ensino e de motivação ao aluno. As partidas são representadas por listas baseadas no padrão PGN (Portable Algebraic Notation), segundo J. Edwards [Edwa93], do tipo

(4, _, Capablanca, Steiner, Kieseritzky, Los Angeles, 1933, 1, Quatro_Cavalos, (e4,e5, Cf3, Cc6, Cc3, Cf6, Bb5, Bb4, O-O, O-O, d3, d6, Bg5, Bxc3, cxd3, Ce7, Ch4, c6, Bc4, Be6, Bxf6, gxf6, Bxe6, fxe6, Dg4, Rf7, f4, Tg8, Dh5, Rg7, fxe5, dxe5, Txf6, Rxf6, Tf1, Cf5, Cxf5, exf5, Txf5, Re7, Df7, Rd6, Tf6, Rc5, Dxb7, Db6, Txc6, Dxc6, Db4#)).

As informações aqui utilizadas estão definidas no Apêndice I.

4.3.5 Interface

A interface proposta é mostrada na figura 35. Esta proposta é motivada em diversas interfaces de jogos de xadrez em computador [Ches91] [Ches93] [Sarg4], e supre os requisitos do Tutor Inteligente de Xadrez.

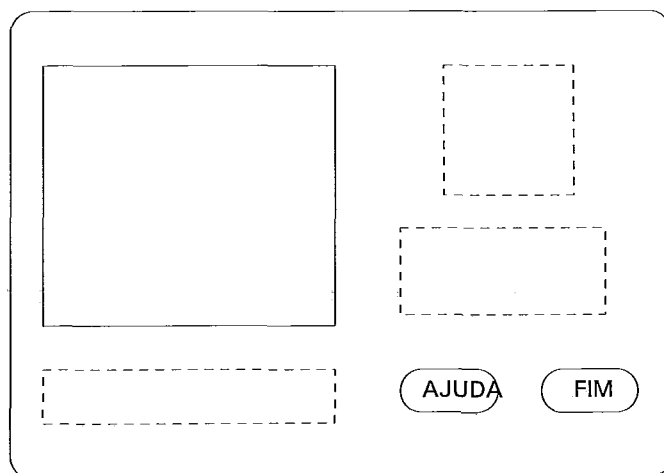


Figura 35: Interface do Tutor Inteligente de Xadrez

A interface proposta constitui-se de botões de ajuda e de término de sessão e de áreas de exposição da posição e de mensagens.

4.4 Um Cenário de Interação com o Aluno

O tutor interage com o aluno apresentando um problema (posição) e formulando uma questão sobre o mesmo; o aluno responde realizando movimentos de peças sobre o tabuleiro. As posições são mostradas no vídeo pelo tutor através de uma representação gráfica do tabuleiro de xadrez e as respostas do aluno são indicadas percorrendo adequadamente o tabuleiro citado.

Os problemas são classificados por temas e estão avaliados por grau de dificuldade em fáceis, médios e difíceis. É estipulado um tempo máximo de resposta conforme o grau de dificuldade do problema, o nível de aprendizado do aluno e o seu desempenho durante a sessão.

O tutor escolhe a posição e o tema através de uma consulta às Estratégias de Ensino. As Estratégias de Ensino são formadas por regras de produção e estão listadas no Apêndice I.

Ao iniciar um novo tema, o tutor realiza uma demonstração do mesmo (*demo*). Essa demonstração é realizada com uma das posições da lista de problemas fáceis e é enfatizado o tema em questão.

O tutor mostra posições ao aluno dentro de uma política de explorar temas, iniciando sempre pelos mais fáceis e aumentando gradativamente a complexidade dos mesmos. Inicialmente o tema escolhido é mostrado ao aluno através de uma apresentação de diversas posições, que são solucionadas didaticamente pelo tutor, tendo enfatizadas suas características importantes. A seguir, dentro do mesmo tema são propostos aos alunos problemas de complexidade variável, começando preferentemente pelos de mais fácil solução.

Na fase inicial que compreende o ensino dos movimentos das peças e das regras básicas, utiliza-se uma estratégia de remediação imediata, ou seja, as soluções incorretas dos alunos são imediatamente corrigidas e indicados os tipos de erros cometidos. Isto

evita o acúmulo de imprecisões, o que acarreta sérios problemas numa etapa posterior do ensino.

Superada essa fase inicial, o tutor combina uma estratégia de remediação imediata e remediação posterior (definidos na seção 2.3.8). A remediação posterior é adequada para estimular o aluno a se superar.

O primeiro passo na análise da resposta do aluno é verificar se o lance proposto é um lance legal, isto é, se o lance obedece às regras do xadrez. Esta lista é fornecida por gerador de lances que aceita a posição proposta e devolve a lista de lances legais.

As respostas inválidas dadas pelo aluno são aquelas que não pertencem à lista de lances legais. Neste caso são apontadas imediatamente e o tipo de erro cometido é remediado. Exemplificando, é comum o aprendiz tentar realizar o pequeno roque após ter movido o rei, o que constitui uma jogada irregular, apontado pela mensagem mostrada na figura 36. O Apêndice I apresenta os lances irregulares mais comuns.

ADVERTÊNCIA 1 Roque inválido
SE 1) O lance do aluno é pequeno-roque, e
2) O rei da cor do aluno já se moveu,
ENTÃO Tentativa inválida de rocar: o rei já se movimentou

Figura 36: Uma advertência para um lance irregular

Se a resposta é errada e é um lance válido, o tutor considera que o aluno não respondeu corretamente. Quando o aluno responde corretamente, o tutor mostra pausadamente a seqüência que começa com a posição proposta, realiza a resposta correta e executa todos os passos subseqüentes até confirmar a resposta certa. Na posição final, o tutor faz um pequeno comentário sobre a posição enfatizando o tema.

Na interação com o aluno, o tutor envia mensagens simples comunicando a tarefa a ser cumprida em cada momento, o acerto e o erro do aluno, o tempo máximo disponível para a resposta e o fim da sessão. Os sucessos do aluno são incentivados através de

mensagens apropriadas. Os lances irregulares são apontados e sinalizados com avisos sonoros. O aluno pode solicitar ajuda ao tutor e este direciona a interação estimulando o aluno a raciocinar e encontrar a resposta, num processo por etapas que simula a análise empregada por técnicos experientes interagindo com jogadores em formação.

A solução pelo aluno de problemas de certo grau de dificuldade indica ao tutor uma relevante compreensão do tema. Neste caso é escolhido um novo tema de estudo e o processo se repete. O tempo de sessão é estipulado pelo tutor. O aluno, contudo, pode solicitar o término da sessão. O tutor assume um tempo *default* de 40 minutos para cada sessão.

Temas considerados já aprendidos pelo aluno são eventualmente rememorados pelo tutor como parte de uma estratégia de consolidação do aprendizado. Quando o tutor esgota o ensino de todos os temas, o aluno pode continuar utilizando o sistema como treinamento.

O paradigma *questão e exemplos*, definido na seção 2.3.6, é indicado para as solicitações definidas nessa proposta de interação tutor/aluno. Esse paradigma foi empregado no assistente inteligente WEST (vide seção 2.3.5.2.3), é especificado para jogos, apresentando o conhecimento como um conjunto de questões, intercalados de exemplos concretos, e assemelha-se à técnica de treinamento empregada por tutores humanos (técnicos e treinadores) no ensino de diversos jogos, entre eles o xadrez.

4.5 Implementação

Um protótipo do Tutor Inteligente de Xadrez está sendo desenvolvido agregando módulos escritos em Prolog e reutilizando-se módulos do software de xadrez GnuChess [Crac90], distribuído sob regime de freeware, com fontes na linguagem C. No Apêndice I apresentam-se informações adicionais, como o algoritmo de controle proposto, o algoritmo de recuperação de tópico do currículo e as formas de representação do conhecimento utilizadas.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

A mudança do paradigma da Educação com a inserção dos computadores nas escolas é um fenômeno em franco desenvolvimento. Devido à rapidez e amplitude com que tais mudanças estão ocorrendo e também ao fato de que este fenômeno começou há poucos anos, ainda não se chegou a um consenso sobre a efetividade e exequibilidade do uso de determinados tipos de software educacional em diferentes contextos.

A plausibilidade de inserção de software educacional do tipo assistente inteligente e tutor inteligente reside em dois aspectos principais: ter-se ensino/aprendizagem de modo gradativo, respeitando as capacidades individuais; modularização do conhecimento especialista, que permite programar as diferentes estratégias pedagógicas a serem adotadas, além de definir que conteúdo será passado ao aluno.

O estágio do desenvolvimento de tutores inteligentes e assistentes inteligentes faz com que poucos exemplares tenham atingido o estágio de comercialização, sendo citados apenas o Tutor Lisp (ensino de programação com a linguagem Lisp; Anderson e Reiser; 1985) e o PROUST (tutor para *debugging* da linguagem Pascal; Johnson e Soloway; 1987). A grande maioria dos sistemas são objeto e fruto de pesquisas, geralmente desenvolvidos em Universidades.

Dois fatores básicos contribuem para essa relativa imobilidade: a) a compreensão atual dos processos cognitivos não possibilita à Inteligência Artificial desenvolver técnicas para a construção de tutores e assistentes mais eficazes e; b) a necessidade de equipes multidisciplinares e numerosas, que trabalhem no desenvolvimento de determinado produto, o que é um fator onerante.

Uma estratégia de implementação é a criação de protótipos, aos quais vai se acoplando mais conhecimentos. A própria estrutura modular e a explicitação do conhecimento nos módulos especialistas facilitam esse trabalho. Essa estratégia foi utilizada na implementação do tutor inteligente WUSOR [Weng87] e do Assistente Inteligente de Análise e Projeto Estruturado [Falc92], entre outros.

Outra opção é utilizar-se um sistema especialista já pronto e reutilizar seu módulo de conhecimentos num tutor inteligente. Assim economiza-se trabalho e garante-se a qualidade das informações contidas e o tutor é utilizado para o ensino do sistema especialista em questão. O GUIDON foi implementado dentro dessa estratégia, aproveitando o módulo de conhecimentos do MYCIN [Buch85] [Clan87a] [Weng87].

Na literatura não encontramos métodos, já maduros o suficiente para serem utilizados no desenvolvimento de tutores inteligentes.

Galvis [Galv90] esboça uma opinião esclarecedora sobre este assunto:

"Os Softwares Educativos Inteligentes são por agora mais um campo de investigação, uma vez que as ciências cognitivas como também as de Computação estão para aperfeiçoar o conhecimento que faça eficientes este tipo de Material Educativo Computadorizado (MEC). A análise profunda é necessária em respeito a cada uma das estratégias de ensino e a forma de levá-las à prática com apoio do computador é por si própria uma grande contribuição. Sua importância reside na possibilidade de criar e submeter a prova idéias educativas valiosas com as quais se enriqueçam as ciências da educação e da computação."

A proposta de um Tutor Inteligente de Xadrez teve como cerne as idéias desenvolvidas no assistente inteligente WEST, utilizando o jogo "*How the West was Won*". A natureza e a diferença de complexidade entre esses jogos evidenciou que o trabalho é intrinsecamente mais complexo: complexo para ensinar e aprender; complexo para implementar.

O xadrez, além de ser um jogo, caracteriza-se por ser uma atividade cultural e esportiva, logo é dotado de fatores próprios tais como uma terminologia, uma história e valores éticos e estéticos. Estes fatores evidentemente precisam estar contemplados numa prática de ensino e aprendizagem que se proponha efetiva. Esta inserção nos valores e crenças daqueles que vão usar esse tutor - no nosso caso (futuros) jogadores e técnicos de xadrez - é uma das propostas do *projeto participativo*, sugerido por Clancey [Clan93].

A questão da complexidade no ensino/aprendizagem foi abordada parcialmente introduzindo-se mais níveis de assistência no Tutor Inteligente de Xadrez do que no WEST e associando-se um currículo.

Os níveis de assistência propostos foram baseados na prática de treinamento e servem de base para a dinâmica relação entre aluno e tutor. A proposta do uso de um currículo representa a inserção da experiência da ordem em que os tópicos devem ser apresentados ao aluno, tornando mais nítidos os objetivos a serem alcançados.

A complexidade de implementação foi abordada através da reutilização, sendo reutilizados diversos conhecimentos, tais como posições, partidas e a máquina de jogar xadrez, que na arquitetura proposta é chamada gerador de lances e avaliador de lances. Embora tenha havido o trabalho de compatibilizar estas informações à estrutura do tutor, o fator reutilização foi um fator importante na economia de tempo, e também, na veracidade e utilidade da informação.

A proposta do uso de um currículo representa a inserção da experiência de professores sobre ordem em que os tópicos devem ser apresentados ao aluno, tornando mais nítidos e graduais os objetivos a serem alcançados.

O modelo proposto é extensível a outros jogos de informação completa como, por exemplo, damas e go, pois esses jogos possuem métodos de aprendizagem e treinamento semelhantes ao xadrez, como pode ser observado da leitura de Samuel [Samu59] e Schaeffer [Scha91], por exemplo. Uma limitação do modelo adotado é que o conhecimento do aluno sobre um tópico é tratado com um grau de incerteza, pois não há maneira do tutor saber com certeza, se o aluno entende ou não determinado tópico, fato já apontado por Clark e McCartney [Clar93]. Evidencia-se, também, que as regras de produção são insuficientes para explicar posições complexas. Contudo estas posições não são tratadas nesse tutor, cujo escopo é voltado para ensino de posições mais simples a iniciantes.

Um trabalho no futuro imediato é a experiência de ensino de xadrez usando esse tutor, sugerindo seu uso, mesmo incompleto, no ensino de alguns módulos. Paralelamente desenvolve-se outros módulos até que se chegue à situação ideal do tutor poder ensinar todos os passos básicos do xadrez. Esta situação, como é mostrado nesse trabalho, envolve um grande esforço dada às experiências de implementação conhecidas.

A verdadeira extensão desse modelo e da metodologia aqui evidenciada, só será efetivamente validada através da prática e de sucessivas reformulações, o que já aconteceu com vários tutores, entre eles o GUIDON. Esse é um dos objetivos da Informática e Educação.

Finalmente cremos que a utilização de tutores inteligentes por alunos no ambiente escolar terá que ser seguida por uma reformulação das estratégias pedagógicas usadas pelos professores envolvidos visando tirar proveito maior da capacidade do tutor inteligente e do ensino tradicional educacionais.

A idéia central é que o tutor inteligente - bem como outros diferentes softwares tradicionais - venha potencializar o papel do professor e não, simplesmente, substituí-lo, valorizando a escola, que deve acompanhar os progressos do seu tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Alli91] Allis, L.V. , Herik, H.J e Herschberg, I.S. "Which Games Will Survive?". in Levy, D.N.L e Beal, D.F. (eds) "Heuristic Programming in Artificial Intelligence 2 - The Second Computer Olympiad". Editora Ellis Norwood, Londres, 1991.
- [Alpa90] Alpay, L. "Development Expertise and Teaching of Medical Diagnosis". The Seventh International Conference on Technology and Education, Volume 1, Bruxelas, março 1990, pp. 367-369.
- [Asan91] Asanome, C.R. "Sistemas Tutores Inteligentes". Relatório Técnico. COPPE /UFRJ. maio 1991.
- [Assu95] Assumpção, A.L. "A Geometria do Cavalo do Jogo de Xadrez: Um Micromundo de Exploração Geométrica". Tese de Mestrado, Universidade Santa Úrsula, Rio de Janeiro, março 1995.
- [Aver74] Averbach, Y. e Beilin, M. "Viaje por el Reino del Ajedrez". Editora Sopena Argentina, Buenos Aires, 1974.
- [Barr81] Barr, A.I. e Feingenbaum, E.A. "The Handbook of Artificial Intelligence". Volume 1, Editora William Kaufmann, Los Altos, 1981.
- [Barr82] Barr, A.I. e Feingenbaum, E.A. "The Handbook of Artificial Intelligence". Volume 2, Editora William Kaufmann, Los Altos, 1982.
- [Bake93] Baker, M.J. "Dialog Learning: Negotiation and Argumentation as Mediating Mechanisms". in Proceedings of AI-ED 93 - World Conference on Artificial Intelligence in Education, Edimburgo, agosto 1993, pp. 4-11.
- [Bake94] Baker, M. "A Model for Negotiation in Teaching Learning Dialogues". Journal of Artificial Intelligence in Education, Volume 5, Número 2, 1994, pp. 199-254.
- [Beck89] Becker, I. "Manual de Xadrez", 20a. ed., Editora Nobel, 1989
- [Berl85] Berliner, H.J. "Multiprocessing and Duality in Intelligence". in Steels, L. e Campbell, J.A. (eds) "Progress in Artificial Intelligence". Editora Ellis Norwood, Chichester, 1985.

- [Bert94] Bertels, K. "A Dynamic View on Cognitive Student Modelling in Computer Programming". *Journal of Artificial Intelligence in Education*, Volume 5, Número 1, 1994, pp. 84-105.
- [Blan94] Blandford, A.E. "Teaching Through Collaborative Problem Solving". *Journal of Artificial Intelligence in Education*, Volume 5, Número 1, 1994, pp. 51-84.
- [Bonn85] Bonnet, A. "Artificial Intelligence - Promise and Performance". Editora Prentice-Hall, 1985.
- [Brat85] Bratko, I. "Symbolic Derivation of Chess Patterns". in Steels, L. e Campbell, J.A. (eds) "Progress in Artificial Intelligence". Editora Ellis Norwood, Chichester, 1985.
- [Brat90] Bratko, I. "PROLOG Programming for Artificial Intelligence", 2a. ed., Editora Addison-Wesley, 1990.
- [Bred93] Bredeweg, B. e Breuker, J. "'Device Models" for Diagnosis of Student Behaviour". in *Proceedings of AI-ED 93 - World Conference on Artificial Intelligence in Education*, Edimburgo, agosto 1993, pp. 441-448.
- [Brow82] Brown, J.S. e Sleeman, D. "Introduction: Intelligent Tutoring Systems". in Brown, J.S. e Sleeman, D. (eds). "Intelligent Tutoring Systems". Editora Academic Press, 1982, pp. 1-11.
- [Brun76] Bruner, J.S. "Uma Nova Teoria de Aprendizagem". trad. de Ribeiro, N.L. Edições Bloch, 4a. ed., Rio de Janeiro, 1976.
- [Buch85] Buchanan, B.G. e Shortliffe, E.H. (eds) "Rule-Based Expert Systems - The MYCIN Experiments of the Stanford Programming Project". Editora Addison-Wesley, 1985.
- [Burt82a] Burton, R.R. e Brown, J.S. "An Investigation of Computer Coaching for Informal Learning Activities" in Brown, J.S. e Sleeman, D. (eds). "Intelligent Tutoring Systems". Editora Academic, 1982, pp. 79-98.
- [Burt82b] Burton, R.R. "Diagnosing Bugs in a Single Procedural Skill". in Brown, J.S. e Sleeman, D. (eds). "Intelligent Tutoring Systems". Editora Academic, 1982, pp. 157-184.

- [Cape93] Capell, P. e Dannenberg, R.G. "Instructional Design and Intelligent Tutoring Theory and the Precision of Design". *Journal of Artificial Intelligence in Education*, Volume 4, Número 1, 1993, pp. 95-121.
- [Capa88] Capablanca, J.R. "Lições Elementares de Xadrez", 2a. ed. Editora Hemus, São Paulo, 1988.
- [Cava91] Cavallo, D. "New Meaning for Learning". VII Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial, 1991, pp. 231-236.
- [Chan93] Chan, T.W., Lin, C.C., Lin, S.J. e Kuo, H.C. "OCTR: A Model of Learning Stages". in *Proceedings of AI-ED 93 - World Conference on Artificial Intelligence in Education*, Edimburgo, agosto 1993, pp. 257-264.
- [Chav91] Chaves, E.O.C. "Multimídia - Conceituação, Aplicações e Tecnologia". People Computação, Campinas, 1991.
- [Ches91] The Chessmaster 3000 - User's Guide for the IBM PC. The Toolworks Inc., Califórnia, 1991.
- [Ches93] The Chessmaster 4000 - User's Guide for the IBM PC. The Toolworks Inc., Califórnia, 1993.
- [Clan87a] Clancey, W. "Intelligent Tutoring Systems: a Tutorial Survey". in Lamsweerde, A. e Dufour, P. (eds) "Current Issues in Expert Systems". Editora Academic, 1987.
- [Clan87b] Clancey, W. "From GUIDON to NEOMYCIN and HERACLES in Twenty Short Lessons". in Lamsweerde, A. e Dufour, P. (eds) "Current Issues in Expert Systems". Editora Academic, 1987.
- [Clan93] Clancey, W. "Guidon-Manage Revisited: A Socio-Technical Systems Approach". *Journal of Artificial Intelligence in Education*, Volume 4, Número 1, 1993, pp. 5-39.
- [Clar93] Clark, R.T e McCartney, R. "Using and Mantaining Curricula with a Precedence Graph Overlay Model". in *Proceedings of AI-ED 93 - World Conference on Artificial Intelligence in Education*, Edimburgo, agosto 1993, pp. 449-456.
- [Cobu88] Coburn, P. et al. "Informática na Educação", trad. de Campos, G.H., Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1988.

- [Cole94] Coles, L.S. "Computer Chess: The Drosophila of AI". *AI Expert*, abril 1994, pp. 25-31.
- [Crac90] Cracraft, S. "Background on GNU Chess". Free Software Foundation, Cambridge, 1990.
- [Dani93] Daniels, H. "O Indivíduo e a Organização". in Daniels, H. (org.), "Vygotsky em Foco: Pressupostos e Desdobramentos", trad. de Martins, M.S. e Cestari, E.J., Campinas, Editora Papirus, 1993.
- [Djam93] Djamen, J-Y, Kaltenbach, M. e Frasson, C. "An Interactive Planning and Learning System". in *Proceedings of AI-ED 93 - World Conference on Artificial Intelligence in Education*, Edimburgo, agosto 1993, pp. 354-361.
- [Dons90] Donskoy, M.V e Schaeffer, J. "Perspectives on Falling from Grace". in Marsland, T.A. e Schaeffer, J. (eds) "Computers, Chess and Cognition". Editora Springer-Verlag, Nova York, 1990.
- [Drou93] Drouilly, M. "Aprendo a Jogar Xadrez", Editorial Notícias, Lisboa, 1993.
- [D'Ag90] D'Agostini, O. "Xadrez Básico". Editora Tecnoprint, Rio de Janeiro, 1990.
- [Edwa94] Edwards, J.S. "Portable Game Notation Specification and Implementation Guide", Internet, 1994.
- [Fair92] Fairweather, P., Gibbons, A., Rogers, D., Waki, R. e O'Neal, A. "A Model for Computer-Based Training". *AI Expert*, dezembro 1992, pp. 30-35.
- [Falc92] Falcão, J.F. "Um Sistema Baseado em Conhecimento de Apoio a Métodos de Desenvolvimento de Software". Tese de Mestrado, COPPE/UF RJ, Rio de Janeiro, maio 1992.
- [Fide94] FIDE Handbook, Atenas, 1994.
- [Fisc90] Fischetti, E. e Gisolfi, A. "From Computers-Aided Instruction to Intelligent Tutoring Systems". *Educational Technology*, agosto 1990, pp. 7-17.
- [Fons93] Fonseca Jr., F.M. "Vivendo & Aprendendo a Jogar". SENAC, São Paulo, 1993.

- [Fons94] Fonseca, V., Santos, F. e Cruz, V. "Avaliação dos Efeitos do Programa de Enriquecimento Cognitivo (PEI) em Jovens Pescadores Integrados num Processo de Formação em Alternância". Arquivos Brasileiros de Psicologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, vol. 46, números 1/2, janeiro/junho 1994, pp. 48-62.
- [Font94] Fontenelle, A. "Computador Ameaça Campeões de Xadrez". Caderno de Esportes, página 5-10, Folha de São Paulo, São Paulo, 27/11/1994.
- [Fran92] Franklin, M.E., Mansour, A.A., McGregor, J.J. e Poyser, J. "Incorporating Multimedia Material in an Intelligent Tutoring System Dialogue". The Ninth International Conference on Technology and Education, Volume 1, Paris, março 1992, pp. 55-57.
- [Frei93] Freitag, B. "Aspectos Filosóficos e Sócio-Antropológicos do Construtivismo Pós-Piagetiano I". in Grossi, E.P. e Bordin, J. (orgs) "Construtivismo Pós-Piagetiano - Um Novo Paradigma sobre Aprendizagem". Editora Vozes, Petrópolis, 1993.
- [Frey83] Frey, P.W. "An Introduction to Computer Chess". in Frey, P.W. (ed.) "Chess Skill in Man and Machine". Editora Springer-Verlag, Nova York, 1983.
- [Fros93] Frosini, B., Lazzarini, B. e Marcelloni, F. "A Tool for Building Experts Systems Which Carry Out Academic Exams". in Proceedings of AI-Ed 93 - World Conference on Artificial Intelligence in Education, Edimburgo, agosto 1993, pp. 298-305.
- [Galv92] Galvis, A.H. "Ingeniería de Software Educativo". Ediciones Uniandes, Colômbia, 1992.
- [Gil92] Gil, J.M. e Magem, J. "Test del Ajedrecista". Ediciones Martinez Roca, Barcelona 1992.
- [Giso90] Gisolfi, A. e Moccaldi, G. "A Student Model for Algebraic Tutor". The Seventh International Conference on Technology and Education, Volume 2, Bruxelas, março 1990, pp. 274-276.
- [Gold82] Goldstein, I.P. "The Genetic Graph: A Representation for the Evolution of Procedural Knowledge" in Brown, J.S. e Sleeman, D. (eds). "Intelligent Tutoring Systems". Editora Academic, 1982, pp. 51-78.

- [Good90] Goodyear, P. e Johnson, R. "Knowledge-Based Authoring of Knowledge-Based Courseware". The Seventh International Conference on Technology and Education, Volume 1, Bruxelas, março 1990, pp. 379-381.
- [Gras93] Gras, R. "Du Cognitivisme à l'Intelligence Artificielle: "Rôles Cognitifs de l'Informatique". Encontro Brasil-França, Rio de Janeiro, maio 1993, pp. 98-101.
- [Gree84] Greenfield, P.M. "O Desenvolvimento do Raciocínio na Era Eletrônica: os Efeitos da TV, Computadores e Videogames", trad. de Bonamine, C., Summus Editorial, São Paulo, 1984.
- [Hash92] Hashemi, S. e Hagen, L.K. "Intelligent Tutoring Systems in Education - Development, Evaluation and Assesment". The Ninth International Conference on Technology and Education, Volume 2, Paris, março 1992, pp. 1343-1345.
- [Hofs89] Hofstadter, D.R. "Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid". Vintage Books, 1989.
- [Hsu90a] Hsu, F., Anantharaman, T., Campbell, M. e Nowatzyk, A. "Deep Thought". in Marsland, T.A. e Schaeffer, J. (eds) "Computers, Chess and Cognition". Editora Springer-Verlag, Nova York, 1990.
- [Hsu90b] Hsu, F., Anantharaman, T., Campbell, M. e Nowatzyk, A. "A Grandmaster Chess Machine". Scientific American, outubro 1990, Volume 263, Número 4, pp. 18-24.
- [Huan91] Huang, L. e Taotao, H. "A Uniform Student Model for Intelligent Tutoring Systems: Declarative and Procedural Aspects". Educational Technology, novembro 1994.
- [Jona94] Jonassen, D.H. "Thinking Technology - Toward a Constructivist Design Model". Educational Technology, abril 1994, pp. 34-37.
- [Kain90] Kaindl, H. "Tree Searching Algorithms". in Marsland, T.A. e Schaeffer, J. (eds) "Computers, Chess and Cognition", Editora Springer-Verlag, Nova York, 1990.
- [Karp84] Karpov, A. e Guik, E. "Mosaico Ajedrecistico". Editora Raduga, Moscou, 1984.

- [Kope87] Kopec, D. (ed.) "Ajedrez Magistral". Edições Martinez Roca, Barcelona, 1987.
- [Kope90] Kopec, D. "Advances in Man-Machine Play". in Marsland, T.A. e Schaeffer, J. (eds) "Computers, Chess and Cognition". Editora Springer-Verlag, Nova York, 1990.
- [Koto82] Kotov, A. "Piense como un Gran Maestro". Editora Ricardo Aguillera, 3a. ed., Madri, 1982.
- [Lask88] Lasker, E. "El Sentido Común en Ajedrez". Editora Martinez Roca, Barcelona, 1988.
- [Laua88] Lauand, L.J. "O Xadrez na Idade Média". Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.
- [Laur90] Laurière, E. "Problem Solving and Artificial Intelligence". Editora Prentice-Hall, Nova York, 1990.
- [Laur93] Laurillard, D. "From Learning Need to Teaching Strategy: What is the Nature of the Link?". in Proceedings of AI-ED 93 - World Conference on Artificial Intelligence in Education, Edimburgo, agosto 1993, pp. 12-14.
- [Le94] Le, T.V. "Techniques of Prolog Programming with Implementation of Logical Negation and Quantified Goals". Editora John Wiley&Sons, Nova York, 1994.
- [Ledo94] Ledoux, A. "Echecs - L'Esprit Vaincu par la Machine", Science & Vie, Numéro 926, novembro 1994, pp. 92-97.
- [Levy88] Levy, D.N.L. (ed) "Computer Games I", Editora Springer-Verlag, Nova York, 1990.
- [Lian92] Lianjing, H. "TDITS: A Tool for Developing Intelligent Tutoring Systems". Educational Technology, setembro 1990, pp. 54-55.
- [Lima92] Lima, J.C. "SINTONIA: Vers un Systeme pour la Construction des Diagnostics dans les Tuteurs d'Informatique". Tese de Doutorado, Paris 1992.
- [Lour93] Loureiro, L. Coluna de Xadrez, Caderno de Esportes, Jornal do Brasil, 21/06/93.

- [Luce93] Lucena, M. "A Construção do Conhecimento e o Processo da Cooperação entre Pares no Uso Educacional de Computadores". 4o. Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Recife, dezembro 1993, pp. 144-158.
- [Malt94] Maltempi, M.V. e Nunes, M.G.V. "INTEMA: An Explanation Generator for Intelligent Tutoring Systems". Brazilian Symposium on Artificial Intelligence, Fortaleza, outubro 1994, pp. 457-469.
- [Macc92] MacCalla, G. e Greer, J. "Special Issue on Student Modelling: Editor's Introduction". Journal of Artificial Intelligence in Education, Volume 3, Número 4, 1992, pp. 377-380.
- [Mars90] Marsland, T.A. "The Bratko-Kopec Test Revisited". in Marsland, T.A. e Schaeffer, J. (eds) "Computers, Chess and Cognition", Editora Springer-Verlag, Nova York, 1990.
- [Mcma93] McManus, M. e Aiken, R. "The Group Leader Paradigm in an Intelligent Collaborative Learning System". in Proceedings of AI-ED 93 - World Conference on Artificial Intelligence in Education, Edimburgo, agosto 1993, pp. 249-256.
- [Mich90] Michie, D. "Brute Force in Chess and Science". in Marsland, T.A. e Schaeffer, J. (eds) "Computers, Chess and Cognition", Editora Springer-Verlag, Nova York, 1990.
- [Moor90] Moore, D. "A Discussion-Based Intelligent Tutoring Systems". The Seventh International Conference on Technology and Education, Volume 1, Bruxelas, março 1990, pp. 391-393.
- [Moor92] Moore, D. e Hobbs, P. "Discussion-Based Intelligent Tutoring". The Ninth International Conference on Technology and Education, Volume 2, Paris, março 1992, pp. 1559-1583.
- [Najd94] Najdorf, M. Ajedrez Magistral, El Clarin, Buenos Aires, 9/04/1994.
- [Nett92] Netto, J.F.M. e Santos, N. "Trabalho Cooperativo: Uma Tendência no Uso de Computadores na Educação". Workshop em Trabalho Cooperativo, Pensamento Crítico e Software Educacional". COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 27/08/92.
- [Nett93] Netto, J.F.M. "Um Tutor Inteligente para o Ensino de Xadrez". I Workshop: Pesquisas de Teses de Mestrado em Informática na Educação, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 11/11/1993.

- [Newb79] Newborn, M.N. "Recent Progress in Computer Chess". in Levy, D.N.L. (ed) "Computers Games I", Editora Springer-Verlag, Nova York, 1990.
- [Nune93] Nunes, M.G.V., Takehara, R.S. e Mendes, M.D.C. "A Network-based Model for Intelligent Tutoring Systems". X Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial, Porto Alegre, outubro 1993, pp. 277-288.
- [Oliv88] Oliveira, U.S.C. "Um Sistema Tutorial Inteligente". Tese de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, fevereiro 1988.
- [Oliv94] Oliveira, F., Viccari, R. e Coelho, H. "A Topological Approach to Equilibration of Concepts". Brazilian Symposium on Artificial Intelligence, Fortaleza, outubro 1994, pp. 507-521.
- [Orey93] Orey, M., Trent, A. e Young, J. "Development Efficiency and Effectiveness of Alternative Platforms for Intelligent Tutors". in Proceedings of AI-ED 93 - World Conference on Artificial Intelligence in Education, Edimburgo, agosto 1993, pp. 42-49.
- [O'Co93] O'Connell, K. "Le Kasparov's Gambit", Europe Echecs, Número 418, dezembro 1993, pp. 20-21.
- [O'Sh83] O'Shea, T. e Self, J. "Learning and Teaching with Computers", Editora Harvester, 1983.
- [Pach82] Pachman, L. e Kuhnmond, V.I. "Ajedrez y Computadoras". Editora Martinez Roca, Barcelona, 1982.
- [Pana93] Panagiotou, M., Grigoriadou, G. e Philokiprou, G. "Fuzzy Student Model". in Proceedings of AI-ED 93 - World Conference on Artificial Intelligence in Education, Edimburgo, agosto 1993, pp. 579.
- [Pape94] Papert, J.S. "A Máquina da Criança - Repensando a Escola na Era da Informática". trad. de Costa, S. Editora Artes Médicas, Porto Alegre, 1994.
- [Park87] Park, O. e Seidel, R. "Conventional CBI Versus Intelligent CAI: Suggestions for the Development of Future Systems". Educational Technology, 1987.
- [Petr93] Petrushin, V.A. e Sinitsa, K.M. "Using Probabilistics Reasoning for Learner Modelling". in Proceedings of AI-ED 93 - World Conference on Artificial Intelligence on Education, Edimburgo, agosto 1993, pp. 418-425.

- [Piag93] Piaget, J. e Inhelder, B. "A Psicologia da Criança", 12a. ed., trad. de Cajado, O.M., Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1993.
- [Piag94a] Piaget, J. "O Juízo Moral na Criança". Summus Editorial. trad. de Lenardon, E.. Summus Editorial, São Paulo, 1994.
- [Piag94b] Piaget, J. "Seis Estudos de Psicologia", 20a. ed., Editora Forense Universitária, Rio de Janeiro, 1994.
- [Puch67] Puchkin, V.N. "Heurística - A Ciência do Pensamento Criador", 2a. ed., Zahar Editores, Rio de Janeiro, 1967.
- [Rich88] Rich, E. "Inteligência Artificial". McGraw-Hill, 1988.
- [Riec94] Riecken, D. "Intelligent Agents: Introduction". Communications of the ACM, Volume 37, Número 7, julho 1994, pp. 18-21.
- [Roma90] Romanowsky, P.A. "Combinaciones en el Medio Juego". Editora Martinez Roca, Barcelona, 1990.
- [Rosa79] Rosamilha, N. "Psicologia do Jogo e Aprendizagem Infantil". Editora Pioneira, São Paulo, 1979.
- [Sá90a] Sá, A.V. "Xadrez nas Escolas". in Revista Preto & Branco, Ano 8, Volume 6, Número 39, 1a. parte (janeiro), 1990, pp. 13.
- [Sá90b] Sá, A.V. "Xadrez nas Escolas". in Revista Preto & Branco, Ano 8, Volume 6, Número 43/44 (maio/junho), 1990, pp. 62-63.
- [Sá91] Sá, A.V. "Xadrez nas Escolas". in Revista Preto & Branco, Ano 8, Volume 7, Número 57 (julho), 1991, pp. 31-33.
- [Sá93] Sá, A.V., Trindade, S.H., Lima, A.B. e Souza, A.V. "Xadrez: Cartilha". Ministério da Educação e do Desporto, Brasília, 1993.
- [Sá94] Sá, A.V. "O Xadrez e a Educação: Experiência de Ensino Enxadrístico em Meio Escolar, Periescolar e Extra-Escolar". in INEP - Série Documental - Eventos, Volume 2, 2a. parte (maio), 1994, pp. 1-13.
- [Samu59] Samuel, A.L. "Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers I". reimpresso in Levy, D.N.L. (ed) "Computer Games I". Editora Springer-Verlag, Nova York, 1990.

- [Sarg91] Sargon 4 Computer Chess - User's Manual, Spinnaker Software Company, 1991.
- [Sarm90] Sarmiento Jr, C.A. e Passos, E.P. "Especificação para um Sistema de Autoria Inteligente". 1o. Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Rio de Janeiro, novembro 1990, pp. 221-247.
- [Saxe93] Saxe, G., Gearhart, M., Note, M. e Paduano, P. "A Interação de Crianças e o Desenvolvimento das Compreensões Lógico-Matemáticas: Uma Nova Estrutura para Pesquisa e Prática Educacional". in Daniels, H. (org.), "Vygotsky em Foco: Pressupostos e Desdobramentos", trad. de Martins, M.S. e Cestari, E.J., Campinas, Editora Papirus, 1993.
- [Scha91] Schaeffer, J. , Culberson, J. , Treloar, N. , Knight, B. , Lu, P. e Szafron, D. "Reviving the Game of Checkers". in Levy, D.N.L e Beal, D.F. (eds) "Heuristic Programming in Artificial Intelligence 2 - The Second Computer Olympiad". Editora Ellis Norwood, Londres, 1991.
- [Seid94] Seidel, R.J. e Park, O. "An Historical Perspective and a Model for Evaluation of Intelligent Tutoring Systems". Journal of Computing Research, Volume 10, Número 2, pp. 103-128.
- [Selk94] Selker, T. "COACH: A Teaching Agent that Learns". Communications of the ACM, Volume 37, Número 7, julho 1994, pp. 92-99.
- [Shan50] Shannon, C. "A Chess Player Machine". Scientific American, fevereiro 1950, pp. 48-51. reimpresso in Levy, D.N.L. (ed) "Computer Games I". Editora Springer-Verlag, Nova York, 1990.
- [Shar91] Sharlik, J., Mooney, R.J. e Towell, G.G. "Symbolic and Neural Algorithms: An Experimental Comparison". Machine Learning, Volume 6, Número 6, março 1991, pp. 111-143.
- [Smit94] Smith, D.C., Cypher, A. e Spohrer, J. "KidSim: Programming Agents Without a Programming Language". Communications of the ACM, Volume 37, Número 7, julho 1994, pp. 54-67.
- [Soko91] Sokolnicki, T. "Towards Knowledge-Based Tutors: a Survey and Appraisal of Intelligent Tutoring Systems". The Knowledge Engineering Review, Volume 6, Número 2, 1991, pp. 59-95.
- [Tail93] Taille, Y., Oliveira, M.K. e Dantas, H. "Piaget, Vygotsky e Wallon - Teorias Psicogenéticas em Questão". Editorial Summus, São Paulo, 1992.

- [Tasc93] The TascChess Tutor, TASC B.V., Rotterdam (demo), 1993.
- [Tenn87] Tennyson, R. e Ferrara, J. "Introduction to Special Issue: Artificial Intelligence in Education". Educational Technology, 1987.
- [Trif94] Trifunovic, I.e Vukovic, S. "ABC do Xadrez". 8a. ed, Editora Presença, Lisboa, 1994.
- [Vale93] Valente, A. "Diferentes Usos do Computador na Educação". in Valente, A. (org.) "Computadores e Conhecimento - Repensando a Educação". Gráfica Central da UNICAMP, Campinas, 1993.
- [Van194] Vanlehn, K., Ohlsson, S. e Nason, R.. "Application of Simulated Students: An Exploration". Journal of Artificial Intelligence in Education, Volume 5, Número 2, 1994, pp. 135-175.
- [Vicc90] Viccari, R. e Mousalle, N. "Tutores Inteligentes para o Ensino da Linguagem PROLOG". 1o. Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Rio de Janeiro, novembro 1990, pp. 203-220.
- [Vicc92] Viccari, R. e Oliveira, F. "Sistemas Tutores Inteligentes". XII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, Rio de Janeiro, 1992.
- [Vicc93] Viccari, R. "Inteligência Artificial e Educação: Indagações Básicas". 4o. Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Recife, dezembro 1993, pp. 207-216.
- [Warr93] Warren, K.C., Goodman, B.A. e Macrorowski, S.M. "A Software Architecture for Intelligent Tutoring System". in Proceedings of AI-ED 93 - World Conference on Artificial Intelligence in Education, Edimburgo, agosto 1993, pp. 50-57.
- [Wate86] Waterman, D.A. "A Guide to Expert Systems". Editora Addison-Wesley, Massachusetts, 1986.
- [Weng87] Wenger, E. "Artificial Intelligence and Tutoring Systems - Computational and Cognitive Approaches to the Communication of Knowledge". Editora Morgan Kauffmann, Califórnia, 1987.
- [Wern94] Werneck, V.M. e Rocha, A.R. "Processo de Desenvolvimento para Sistemas Baseados em Conhecimento". Relatório Técnico ES-299/94. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, março 1994.
- [Wins84] Winston, P.H. "Artificial Intelligence". Editora Addison-Wesley, 1984.

- [Wiel92] Wielinga, B.J., Schreiber, A.T. e Breuker, J.A. "KADS: a Modelling Approach to Knowledge Acquisition". Knowledge Acquisition, Número 4, 1992, pp. 5-23.
- [Wink93] Winkels, R. e Breuker, J. "Automatic Generation of Optimal Learning Routes". in Proceedings of AI-ED 93 - World Conference on Artificial Intelligence in Education, Edimburgo, agosto 1993, pp. 330-337.
- [Wool88] Woolf, B. "Intelligent Tutoring Systems: A Survey". in Howard, S. (ed) "Exploring Artificial Intelligence: Survey Talks from National Conference on Artificial Intelligence". Editora Morgan Kaufmann, Califórnia, 1988.

APÊNDICE I

1.1 Introdução

As fontes básicas de conhecimento em xadrez citadas nesse apêndice foram obtidas em Becker [Beck89], D'Agostini [D'Ag90], Sá [Sá93] e Trifunovic e Vukovic [Trif94]. Essas informações básicas são relativamente estáveis e estão, também, apontadas em outros manuais de xadrez não citados na literatura usada neste trabalho. As estratégias de ensino foram baseadas parcialmente nos livros de ensino e treinamento em xadrez, de autores como Capablanca [Capa88], Kotov [Koto82] e Kopec [Kope87], além de experiências práticas.

1.2 Algoritmo de Controle

Início Sessão

Identifica aluno

Declara tempo_disponível

Enquanto tempo_disponível > 0 e pedido_de_termino = Falso **faça**

 Escolhe questão

 Apresenta questão

Enquanto pedido_de_ajuda = Verdadeiro

 Ativa esquema_de_ajuda

Fim_enquanto

 Lê resposta do aluno

Se resposta correta

então

 Comunica acerto questão

senão

 Comunica erro questão

fim_se

Atualiza histórico do aluno

Executa especialista em tutoração

Atualiza tempo_disponível

fim_enquanto

Término_sessão

1.3 Arquitetura do Tutor Inteligente de Xadrez

A figura 37 mostra a arquitetura proposta para o Tutor Inteligente de Xadrez.

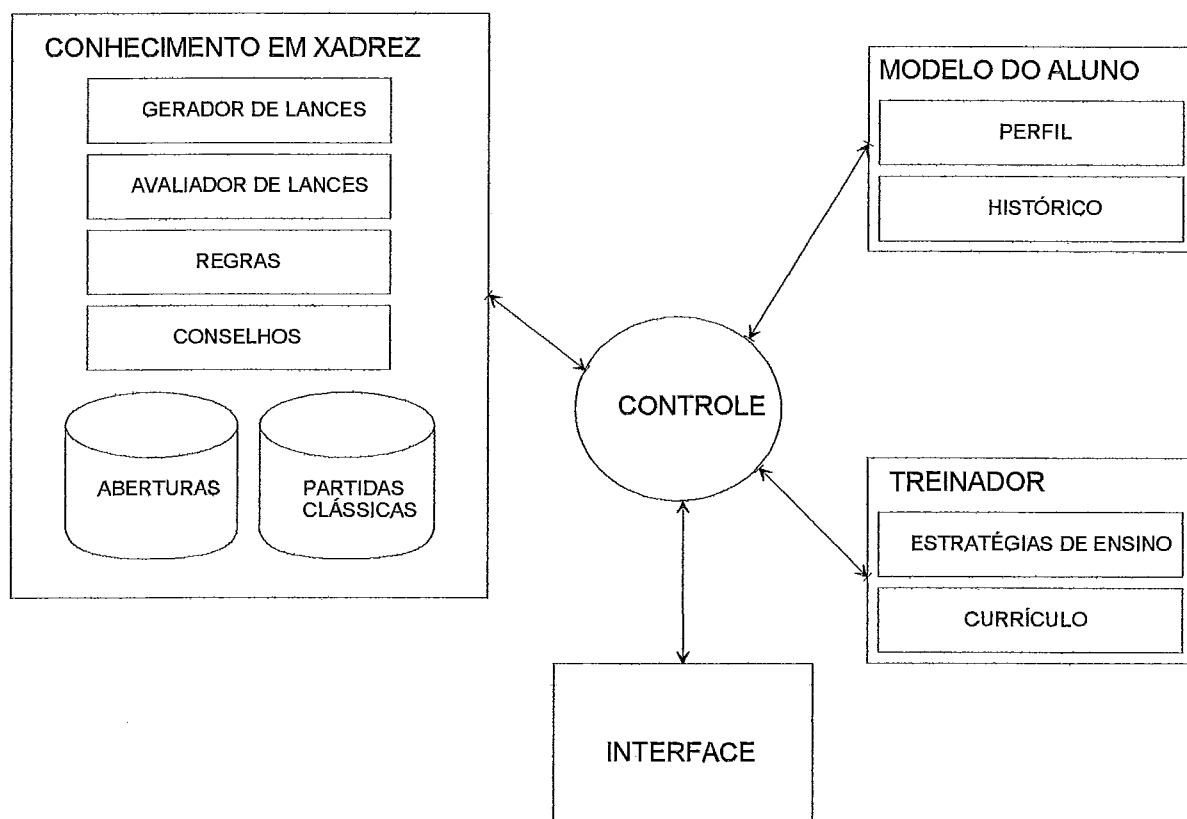


Figura 37: A arquitetura do Tutor Inteligente de Xadrez

1.4 Máquina de Estados do Tutor Intekigente de Xadrez

O Tutor Inteligente de Xadrez apresenta os estados conforme é mostrado na tabela 3.

Estado Atual	Evento	Ação	Próximo Estado
Inativo		Aluno clica ícone do Tutor	Início
Início	Tutor solicita identificação do aluno	Aluno digita nome	Apresentando Problema
Apresentando Problema	Tutor escolhe e apresenta problema	Aluno digita resposta Aluno clica botão de término Tempo de sessão esgotado Aluno clica botão de ajuda	Apresentando Problema Término Em Tutoração
Em Tutoração	Aluno solicita ajuda	Tutor apresenta assistência	Apresentando Problema
Término	Tutor termina sessão		

Tabela 3: Máquina de Estados do Tutor Inteligente de Xadrez

1.5 Estratégias de Ensino

As estratégias de ensino procuram representar assertivas gerais usadas por professores em uma ampla variedade de situações de ensino. Ao ser ensinado um determinado assunto, dividido em problemas de graus de dificuldade conhecidos, percebemos as seguintes relações:

Novo tema, mais tempo requerido para resposta;

Tema antigo, menor tempo requerido para resposta;

Quanto menor o nível do aluno, mais explanações;

Quanto maior o nível do aluno, menos explicações;
Quanto menor o nível do aluno, mais tempo de reflexão para os problemas;
Quanto mais difícil o problema, mais tempo de reflexão;
Quanto mais fácil o problema, menos tempo de reflexão;
Melhor desempenho na sessão, menor tempo de reflexão;
Pior desempenho na sessão, mais tempo de reflexão;
Quanto mais dias entre as sessões, mais explicações preliminares (rememoração);
Quanto menor a idade, mais rememoração;
Quanto menor a idade, maior a comemoração pelo êxito.

Aqui são listadas algumas regras de produção utilizadas pelo Treinador, correspondendo às estratégias de ensino, usadas no Tutor Inteligente de Xadrez. Estas regras são baseadas nos princípios utilizados no WEST [Burt82] e nas regras de tutoração (*t-rules*) do GUIDON [Clan87b].

ESTRATÉGIA DE ENSINO 1 Apresentação do Tema

SE 1) Tema escolhido para ser apresentado ao aluno, e
 2) Tema não apresentado ao aluno

ENTÃO Apresente o tema.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 2 Escolha Inicial do Nível do Problema

SE 1) Tema escolhido para ser apresentado ao aluno, e
 2) Aluno não avaliado no tema

ENTÃO Escolha problema fácil dentro do tema.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 3 Manutenção do Grau de Dificuldade e Tema

SE 1) Grau de dificuldade do problema é Fácil, e
 2) Resposta do aluno é Incorreta

ENTÃO Escolha problema fácil do mesmo tema.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 4 Rememoração do Tema

- SE
- 1) Grau de dificuldade do problema é Fácil, e
 - 2) Resposta do aluno é Incorreta, e
 - 3) Número de respostas incorretas seguidas > 2

ENTÃO Reapresente o tema.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 5 Aumento do Grau de Dificuldade

- SE
- 1) Grau de dificuldade do problema é Fácil, e
 - 2) Resposta do aluno é Correta, e
 - 3) Número de respostas corretas seguidas > 3

ENTÃO Escolha problema médio do mesmo tema.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 6 Aumento do Grau de Dificuldade

- SE
- 1) Grau de dificuldade do problema é Médio, e
 - 2) Resposta do aluno é Correta, e
 - 3) Número de respostas corretas seguidas > 3

ENTÃO Escolha problema difícil do mesmo tema.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 7 Registro de Aprendizado de Tema

- SE
- 1) Grau de dificuldade do problema é Fácil, e
 - 2) Resposta do aluno é Correta, e
 - 3) Aluno resolveu corretamente 75% ou mais dos problemas fáceis do tema

ENTÃO Registre o tema como sabido pelo aluno.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 8 Cumprimento ao Jogador (Incentivo)

- SE
- 1) Grau de dificuldade do problema é Difícil, e
 - 2) Resposta do aluno é Correta, e
 - 3) Problema anterior foi de dificuldade fácil ou médio

ENTÃO Cumprimente o aluno.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 9 Cumprimento ao Jogador (Incentivo)

- SE
- 1) Grau de dificuldade do problema é Difícil, e
 - 2) Resposta do aluno é Correta, e
 - 3) Problema resolvido incorretamente anteriormente

ENTÃO Cumprimente o aluno.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 10 Cumprimento ao Jogador (Incentivo)

- SE
- 1) Resposta do aluno é Correta, e
 - 2) Número de respostas corretas seguidas > 3

ENTÃO Cumprimente o aluno.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 11 Leve Admoestação por Desatenção

- SE
- 1) Problema já resolvido pelo aluno, e
 - 2) Resposta do aluno é Incorreta

ENTÃO Alerte para falta de atenção.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 12 Leve Admoestação por Desatenção

- SE
- 1) Última ação é reapresentação do tema, e
 - 2) Problema proposto é igual ao utilizado na reapresentação do tema, e
 - 3) Resposta do aluno é Incorreta

ENTÃO Alerte para falta de atenção.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 13 Cumprimento ao Jogador por Bom Uso do Tempo

- SE
- 1) Resposta do aluno é Correta, e
 - 2) Tempo usado pelo aluno é maior ou igual à metade do tempo disponível

ENTÃO Cumprimente o jogador.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 14 Leve Admoestação por Uso Indevido do Tempo

- SE
- 1) Resposta do aluno é Incorreta, e
 - 2) Tempo usado pelo aluno é menor que a metade do tempo disponível

ENTÃO Alerte para uso incorreto do tempo.

1.6 Regras

Algumas regras de xadrez são facilmente declaráveis, exemplificadas abaixo:

REGRA DE XADREZ 1 Regra de Empate por Insuficiência de Material para Dar Mate

- SE
- 1) um lado possui somente rei, e
 - 2) outro lado possui somente rei

ENTÃO situação-do-jogo é empate

REGRA DE XADREZ 2 Regra de Empate por Insuficiência de Material para Dar Mate

- SE
- 1) um lado possui somente rei e cavalo, e
 - 2) outro lado possui somente rei

ENTÃO situação-do-jogo é empate

REGRA DE XADREZ 3 Regra de Empate por Insuficiência de Material para Dar Mate

- SE
- 1) um lado possui somente rei e bispo, e
 - 2) outro lado possui somente rei

ENTÃO situação-do-jogo é empate

REGRA DE XADREZ 4 Regra de Empate por Insuficiência de Material para Dar Mate

- SE
- 1) um lado possui somente rei e cavalo, e
 - 2) outro lado possui somente rei e cavalo

ENTÃO situação-do-jogo é empate

REGRA DE XADREZ 5 Regra de Empate por Insuficiência de Material para Dar Mate

- SE
- 1) um lado possui somente rei e bispo, e
 - 2) outro lado possui somente rei e bispo, e
 - 3) cor da casa de um bispo é igual à cor da casa do outro bispo

ENTÃO situação-do-jogo é empate

REGRA DE XADREZ 6 Regra de Empate por Inexistência de Lances Legais

SE número de lances legais de cor a jogar é nulo

ENTÃO situação-do-jogo é empate

Na aprendizagem de xadrez é muito freqüente o aluno cometer certos erros. As regras detectam , também, os erros mais comuns:

- “Tentativa inválida de realizar roque: o rei já se moveu”;
- “Tentativa inválida de realizar roque: a torre do rei já se moveu”;
- “Tentativa inválida de realizar roque: o rei está em xeque”;
- “Tentativa inválida de realizar roque: o rei passa por xeque”;
- “Tentativa inválida de realizar grande roque: o rei já se moveu”;
- “Tentativa inválida de realizar grande roque: a torre da dama já se moveu”;
- “Tentativa inválida de realizar grande roque: o rei está em xeque”;
- “Tentativa inválida de realizar grande roque: o rei passa por xeque”;
- “Lance irregular: essa peça não se movimenta dessa maneira”;
- “Tentativa de jogar com a peça cravada”;
- “Tentativa de capturar peça de mesma cor: não se pode capturar uma peça de mesma cor”;
- “Lance irregular com o rei: a casa está dominada por uma peça adversária”;
- “Lance irregular com a peça: este lance não defende o xeque”;
- “O rei está em xeque-duplo: faça um movimento com o rei”;
- “Tomada *en passant* inválida”;
- “Promoção incorreta do peão: o peão tem que ser promovido a dama, torre, bispo ou cavalo da mesma cor de suas peças”.

Esses lances inválidos são registrados sob a forma de advertências, como a mostrada abaixo:

ADVERTÊNCIA 1 Roque Inválido

SE 1) O lance do aluno é pequeno-roque, e

2) O rei do aluno já se moveu

ENTÃO Tentativa inválida de rocar: o rei já se movimentou.

1.7 Conselhos

Conselhos estão divididos em genéricos e específicos. Conselhos genéricos são máximas utilizadas em praticamente todas as situações, servindo para chamar a atenção do aluno, melhorando sua concentração, motivando-o a uma melhor análise da posição. Conselhos específicos referem-se à fase de jogo e à natureza da posição.

1.7.1 Conselhos Genéricos

CONSELHO GERAL 1 Conselho para Reflexão

SE fase de jogo é qualquer

ENTÃO Emita conselho "Pense antes de fazer o lance"

Conselhos gerais compõem-se também de várias máximas, como as seguintes:

“Não jogue apressadamente”;

“Faça com que suas peças protejam-se umas às outras”;

“Observe a intenção do adversário”;

“Procure sempre seguir um plano de jogo”;

“Observe se o adversário prepara um ataque a seu rei”;

“Analise sempre os xeques”.

1.7.2 Conselhos Específicos

1.7.2.1 Fase de Jogo Abertura

Conselhos em Aberturas são dados para evitar erros típicos de principiantes nesta fase de jogo. Observe que muitos desses conselhos são úteis em outras fases do jogo, como os Conselhos 2 e 6, por exemplo.

CONSELHO DE ABERTURA 1 Conselho na Abertura para Desenvolver Peças

SE fase de jogo é abertura,

ENTÃO Emita conselho "Procure desenvolver as peças o mais rápido possível"

CONSELHO DE ABERTURA 2 Conselho na Abertura para Dominar o Centro

SE 1) fase de jogo é abertura, e

2) cor a jogar tem menos peões no centro que cor

ENTÃO Emita conselho "Procure dominar o centro. Coloque mais peões no centro que seu adversário"

CONSELHO DE ABERTURA 3 Conselho na Abertura para Realizar o Roque

SE 1) fase de jogo é abertura, e

2) número de lances >5, e

3) roque é uma jogada possível

ENTÃO Emita conselho "Procure rocar o mais breve possível"

CONSELHO DE ABERTURA 4 Conselho na Abertura para Evitar Perder a

Possibilidade de Realizar o Roque

SE 1) fase de jogo é abertura, e

2) cor a jogar movimentou o rei, e

3) cor a jogar não realizou roque

ENTÃO Emita conselho "O rei movimentou-se e o roque não foi realizado. Nas próximas partidas, procure rocar o mais breve possível"

CONSELHO DE ABERTURA 5 Conselho na Abertura para Não Mover Precocemente a Dama

- SE
- 1) fase de jogo é abertura, e
 - 2) número de lances < 4, e
 - 3) cor a jogar moveu a dama

ENTÃO Emita conselho "Jogue com a dama apenas depois de desenvolver suas peças"

CONSELHO DE ABERTURA 6 Conselho na Abertura para Não Mover Desnecessariamente uma Peça

- SE fase de jogo é abertura

ENTÃO Emita conselho "Só jogue duas vezes seguidas com a mesma peça se for necessário"

CONSELHO DE ABERTURA 8 Conselho na Abertura para Desenvolver os Cavalos antes dos Bispos

- SE
- 1) fase de jogo é abertura, e
 - 2) número de lances > 4, e
 - 3) cor a jogar não jogou cavalo

ENTÃO Emita conselho "Procure desenvolver os cavalos antes dos bispos"

CONSELHO DE ABERTURA 9 Conselho na Abertura para Iniciar a Partida com e4 ou d4

- SE
- 1) cor a jogar é brancas, e
 - 2) primeiro lance diferente de e4 ou d4

ENTÃO Emita conselho "Procure iniciar a partida com o peão do rei ou com o peão da dama"

CONSELHO DE ABERTURA 10 Conselho na Abertura para Não Iniciar a Partida com Peão da Torre

SE 1) cor a jogar é brancas, e
2) primeiro lance é a3, a4, h3 ou h4

ENTÃO Emita conselho "Não inicie a partida com peão da torre. Procure iniciar a partida com o peão do rei ou com o peão da dama"

1.7.2.2 Fase de Jogo Meio-jogo

Apresentamos alguns exemplos de conselhos para o meio-jogo.

CONSELHO DE MEIO-JOGO 1 Conselho no Meio-Jogo para Dominar o Centro

SE 1) fase de jogo é meio-jogo, e
2) cor a jogar tem menos peões no centro que cor

ENTÃO Emita conselho "Procure dominar o centro, colocando mais peões que seu adversário"

CONSELHO DE MEIO-JOGO 2 Conselho no Meio-Jogo para Atacar Rei Adversário

SE fase de jogo é meio-jogo

ENTÃO Emita conselho "Coloque suas peças apontando para o rei adversário"

CONSELHO DE MEIO-JOGO 3 Conselho no Meio-Jogo para se Preocupar com a Defesa

SE fase de jogo é meio-jogo

ENTÃO Emita conselho "Preocupe-se, também, com a defesa do seu rei"

CONSELHO DE MEIO-JOGO 4 Conselho no Meio-Jogo para Não Avançar Peões do Rei

SE fase de jogo é meio-jogo

ENTÃO Emita conselho "Não avance desnecessariamente os peões que protegem o rei"

1.7.2.3 Fase de Jogo Final

Apresentamos alguns conselhos para o final. Os conselhos 5 e 6 são exemplos de conselhos mais específicos em finais.

CONSELHO DE FINAL 1 Conselho no Final para Ativar o Rei

SE fase de jogo é final

ENTÃO Emita conselho "O rei é uma peça importante no final. Procure ativar o seu rei"

CONSELHO DE FINAL 2 Conselho no Final para Avançar o Peão Passado

SE 1) fase de jogo é final, e

2) cor a jogar possui peão passado

ENTÃO Emita conselho "Avance rapidamente o peão passado"

CONSELHO DE FINAL 3 Conselho no Final para Troca de Peões

SE 1) fase de jogo é final, e

2) cor a jogar está em desvantagem material

ENTÃO Emita conselho "Se você está em desvantagem material, troque peões, não troque peças"

CONSELHO DE FINAL 4 Conselho no Final para Troca de Peças

SE 1) fase de jogo é final, e

2) cor a jogar está em vantagem material

ENTÃO Emita conselho "Se você está em vantagem material, troque peças, não troque peões"

CONSELHO DE FINAL 5 Conselho no Final para Colocação da Torre atrás dos Peões
Adversários

- SE
- 1) fase de jogo é final, e
 - 2) cor a jogar possui torre, e
 - 3) cor oposta possui peão

ENTÃO Emita conselho "Coloque sua torre por trás dos peões do adversário"

CONSELHO DE FINAL 6 Conselho no Final para Colocação dos Peões em Cor
Oposta ao Bispo

- SE
- 1) fase de jogo é final, e
 - 2) cor a jogar possui bispo, e
 - 3) cor a jogar possui peão

ENTÃO Emita conselho "Coloque seus peões nas casas de cor oposta a seu bispo"

1.8 Aberturas

Estão listadas aqui as aberturas e defesas mais comuns, sendo enfatizadas as *aberturas abertas* (aquelas que começam com 1. e4 e5) e as *semi-abertas* (aquelas que começam por 1.e4 e as negras respondem com algum lance diferente de e5, por exemplo, c5 - Siciliana). Na representação o que difere uma abertura de uma defesa é a cardinalidade da sub-lista dos lances: as aberturas têm cardinalidade ímpar; as defesas têm cardinalidade par.

(Alekhine, e4, Cf6)

(Bird, f4)

(Caro_Kann, e4, c6)

(Do_Bispo, e4, e5, Bc4)

(Dois_Cavalos, e4, e5, Cf3, Cc6, Bc4, Cf6)

(Escandinava, e4, d5)

(Escocesa, e4, e5, Cf3, Cc6, d4)

(Francesa, e4, e6)
 (Gambito_da_Dama, d4, d5, c4)
 (Gambito_do_Centro, e4, e5, d4)
 (Gambito_do_Rei, e4, e5, f4)
 (Gambito_Letão, e4, e5, Cf3, f5)
 (Italiana, e4, e5, Cf3, Cc6, Bc4)
 (Petroff, e4, e5, Cf3, Cf6)
 (Philidor, e4, e5, Cf3, d6)
 (Ruy_López, e4, e5, Cf3, Cc6, Bb5)
 (Siciliana, e4, c5)
 (Vienense, e4, e5, Cc3)

1.9 Posições

As informações usadas nesse trabalho para descrever uma posição são:

Identificação	Número que identifica a posição
Condutor_branças	Nome do jogador que conduz as peças brancas
Condutor_negras	Nome do jogador que conduz as peças negras
Local	Local onde foi jogada a partida que gerou a posição
Ano	Ano da realização da partida que gerou a posição
Cor	Cor a quem cabe realizar o lance
Grau_de_dificuldade	Grau aparente de dificuldade F (fácil), M (médio), D (difícil)
Tipo_posição	Tipo característico da posição M (meio-jogo), F (final) e A (abertura)
Lista_posição	Lista de peças na descrição algébrica

2.0 Partidas Clássicas

As informações usadas nesse trabalho para descrever uma partida são:

Identificação	Número que identifica a partida
Nome	Nome pelo qual a partida é conhecida
Condutor_branças	Nome do jogador que conduz as peças brancas
Condutor_negras	Nome do jogador que conduz as peças negras
Local	Local onde foi jogada a partida
Ano	Ano da realização da partida
Resultado	Resultado da partida 1 (vitória das brancas), 0 (vitória das negras) e 2 (empate)
Abertura	Abertura ou defesa utilizada na partida
Lista_de_lances	Lista de lances na descrição algébrica

2.1 Algoritmo do Currículo

Um algoritmo de recuperação de um tópico é o ordenamento topológico, que fornece uma lista dos nós tal que todos os predecessores de um nó aparecem antes dele [Le94]. Um algoritmo de ordenamento topológico é mostrado por Le [Le94]

Para ordenar um grafo em uma Lista de ordem topológica faça

crie a Fila contendo todos os nós com nenhum predecessor, então ordene o Grafo dentro da Lista usando Fila.

Pra ordenar Grafo em uma Lista usando Fila faça

mova a cabeça X da Fila para a cabeça da Lista
ache os sucessores próprios de X e anexe à Fila
remova do Grafo todos os nós tendo X como predecessor
então continue a ordenar o grafo restante no resto da Lista usando a nova Fila (até que a lista esteja vazia)

2.2 Representação do Conhecimento

2.2.1 Currículo

O currículo é representado por uma lista de pares da forma A:B, onde A é um predecessor de B. A lista abaixo associa alguns requisitos e seus pré-requisitos:

```
[xeque:xeque_mate, roque:roque_grande, xeque:xeque_duplo, movimento_peão,
promoção_peão, ...].
```

2.2.2 Modelo do Aluno

O modelo do aluno é representado por um frame (moldura). Mostramos uma rotina para criação de um frame de aluno.

```
% ALUNO                                FRAME
aluno tem                               [ nome: N, idade : I, forca_de_jogo: F,
                                       grau_de_aprendizado : G]
```

```
?-cria_frame(aluno,Frame).
```

```
nome : liev.
```

```
idade : 17.
```

```
forca_de_jogo: 1900.
```

```
grau_de_aprendizado : 3.
```

```
Frame = [nome : liev, idade : 17, forca_de_jogo : 1900, grau_de_aprendizado : 3] >
```

2.2.3 Partidas Clássicas

As partidas clássicas são representadas por listas, baseadas na descrição da seção 2.0, do tipo

partidas(4, _, Capablanca, Steiner-Kieseritzky, Los Angeles, 1933, 1, Quatro_Cavalos, [e4,e5, Cf3, Cc6, Cc3, Cf6, Bb5, Bb4, O-O, O-O, d3, d6, Bg5, Bxc3, cxd3, Ce7, Ch4, c6, Bc4, Be6, Bxf6, gxf6, Bxe6, fxe6, Dg4, Rf7, f4, Tg8, Dh5, Rg7, fxe5,dxe5, Txf6, Rxf6,Tf1, Cf5, Cxf5, exf5, Txf5, Re7, Df7, Rd6, Tf6, Rc5, Dxb7, Db6, Txc6, Dxc6,Db4#)J).