

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM INFORMÁTICA

**STI Oftalmo: Sistema Tutorial
Inteligente sobre Diagnóstico de
Síndromes Oculares**

ANÍBAL MOREIRA JÚNIOR

Campina Grande, PB

Fevereiro - 1991

ANÍBAL MOREIRA JÚNIOR

**STI Oftalmo: Sistema Tutorial
Inteligente sobre Diagnóstico de
Síndromes Oculares**

Dissertação apresentada ao
curso de MESTRADO EM
INFORMÁTICA da Universidade
Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para
obtenção do grau de mestre.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO**

MARIA DE FÁTIMA CAMÉLO
Orientadora

Campina Grande, PB
Fevereiro - 1991



M835s Moreira Junior, Anibal
STI oftalmo : sistema tutorial inteligente sobre
diagnostico de sindromes oculares / Anibal Moreira Junior.
- Campina Grande, 1991.
91 p. : il.

Dissertacao (Mestrado em Informatica) - Universidade
Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Ferramentas de Programacao 2. Sindromes Oculares - 3.
Dissertacao I. Camelo, Maria de Fatima, M.Sc. II.
Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) III.
Título

CDU 004.4'23(043)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COPIN - Coordenação de Pós-Graduação em Informática
AV. AFRIGIO VELOSO, S/N - BODOCONGO
58.100 - Campina Grande - PB.

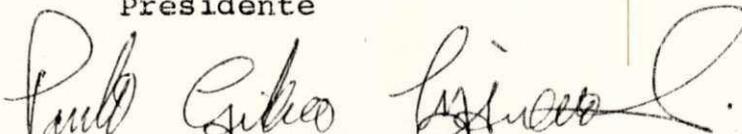
STI-OFTALMO: SISTEMA TUTORIAL INTELIGENTE SOBRE DIAGNÓSTICO DE
SÍNDROMES OCULARES.

ANÍBAL MOREIRA JÚNIOR

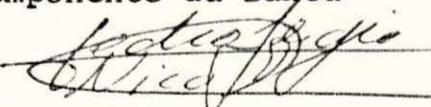
Dissertação Aprovada em 21.02.1991


MARIA DE FÁTIMA CAMELO, M.Sc

Presidente

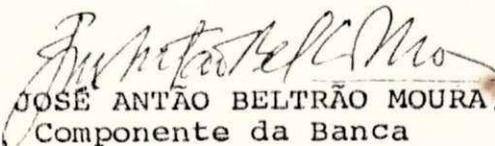

PAULO GILENO CYSNEIROS, Ph.D

Componente da Banca



PEDRO SÉRGIO NICOLLETTI, M.Sc

Componente da Banca


JOSÉ ANTÃO BELTRÃO MOURA, Ph.D
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE, Pb

AGRADECIMENTOS

Após todo o tempo dedicado a este trabalho é inegável que, por muitas vezes, contei com o apoio e a compreensão de pessoas que me estenderam as mãos e me incentivaram, depositando confiança no sucesso do meu empreendimento.

Acima de tudo, agradeço a Deus, energia sublime, que me tem iluminado e renovado as forças para vencer com humildade as mais diversas provas a que me vejo submetido.

Agradeço aos meus pais, que ansiosa e orgulhosamente aguardaram por esse dia, sedentos de ver em minha face a felicidade de ter cumprido honrosamente mais um dever. Meu êxito é tão importante para mim, quanto para eles.

A Telebrás e aos seus representantes, por terem me concedido a oportunidade de participar do curso de mestrado na UFPb, em especial, ao Engenheiro Júlio Keniti Sakurada, cujo apoio foi fundamental para a conclusão deste trabalho.

Ao Sr. Paul Sihota, da Acquired Intelligence Inc., em Victoria, Canadá, que após análise do projeto do STI Oftalmo ofereceu sugestões para o seu aperfeiçoamento e incentivou a sua continuidade.

Finalmente, a todos os amigos e familiares que desejaram o meu sucesso nesta jornada.

Conteúdo

Sumário	i
Lista de Figuras	ii
1. Introdução	1
2. Sistemas Tutores Inteligentes	7
2.1. Componentes	9
2.1.1. O Sistema Especialista	11
2.1.2. O Modelo do Estudante	12
2.1.3. O Conhecimento Pedagógico	14
2.1.4. A Interface com o Aluno	16
2.2. Exemplos	17
2.2.1. O Scholar	17
2.2.2. O Sophie-I	21
2.2.3. O Guidon	23
3. O Sistema Especialista Oftalmo	29
3.1. O Mecanismo de Inferência	33
3.2. Modificações Realizadas	36
4. STI Oftalmo: uma visão geral	39
4.1. Identificação do Aluno	42
4.2. Seleção de Caso	45
4.3. Resolução do Caso pelo Sistema Especialista	51
4.4. Sessão Tutorial	52
5. STI Oftalmo: O Modelo do Estudante	60
5.1. O Modelo Geral	62
5.2. O Modelo Específico	65
5.3. As Condições do Modelo do Estudante	68
6. O Módulo de Estratégias de Ensino	74
6.1. Conjunto de Preparação	75
6.2. Conjunto de Estratégias de Ensino	76
6.3. Conjunto de Apresentação	77
7. Conclusões e Sugestões	80
7.1. O STI Oftalmo como Protótipo	81
7.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	83
7.2.1. Ampliação do Número de Conceitos no SE	84
7.2.2. Formalização do Processo de Diagnóstico	84
7.2.3. Interface Adequada ao Ensino	85
7.2.4. Informações Detalhadas sobre o Aluno	86
7.3. Considerações Finais	87
Referências Bibliográficas	88

STI Oftalmo: um Sistema Tutor Inteligente para Diagnóstico de Síndromes Oculares

por: Anibal Moreira Júnior

orientado por: Prof^a. Maria de Fátima Camêlo

Sumário

Este trabalho apresenta o STI Oftalmo: um Sistema Tutor Inteligente desenvolvido para auxiliar estudantes no treinamento de diagnóstico de síndromes oculares. O STI Oftalmo utiliza técnicas de Inteligência Artificial na representação do conhecimento sobre as estratégias de ensino empregadas e sobre o processo de diagnóstico de síndromes oculares, bem como efetua a modelagem do conhecimento do estudante, detectando a necessidade ou não de intervenções no processo de diagnóstico e o conteúdo destas. O estudante seleciona um caso para a discussão com o sistema. O STI Oftalmo resolve o caso e armazena o caminho percorrido até a sua solução. Em seguida, o mesmo caso é mostrado ao aluno para que possa também diagnosticá-lo. De acordo com os desvios e concordâncias entre os dois caminhos seguidos até a solução e as estratégias instrucionais, o STI Oftalmo orienta os passos do estudante.

Abstract

This work describes the STI Oftalmo: an Intelligent Tutoring System designed to help students in diagnosing eyes syndroms. STI Oftalmo makes use of Artificial Intelligence techniques in representing knowledge about instructional strategies, domain knowledge and student modelling, detecting the interviewing needs on the diagnosing process and their contents. The student selects a case for discussion with the system. STI Oftalmo solves the case, keeps trace throught the solution and the same case data is given the student for diagnosing. STI Oftalmo guides the student toward a solution according to their deviations and similarities.

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Componentes de um STI	11
Figura 4.1 - Processo de Diagnóstico do Oftalmo	41
Figura 4.2 - Tela Inicial do STI Oftalmo	43
Figura 4.3 - Menu da opção identificação de um aluno	43
Figura 4.4 - Menu da opção de inclusão de aluno	44
Figura 4.5 - Seleção do aluno que vai utilizar o STI	44
Figura 4.6 - Seleção de caso: possíveis opções	47
Figura 4.7 - Informação das características desejadas	48
Figura 4.8 - Seleção dos campos oculares nos quais devem aparecer os sinais oculares desejados para o caso	48
Figura 4.9 - Seleção dos sinais oculares desejados	49
Figura 4.10 - O aluno deseja selecionar síndromes oculares	49
Figura 4.11 - Síndromes que o aluno gostaria de discutir	50
Figura 4.12 - Concluída a configuração do caso	50
Figura 4.13 - Mensagem de sucesso na seleção de caso	51
Figura 4.14 - Início da Sessão Tutorial	54
Figura 4.15 - Sinais conhecidos pelo aluno	55
Figura 4.16 - Campos oculares com sinal conhecido	55
Figura 4.17 - Sinais presentes e ausentes no campo ocular "Retina e Coróides"	56
Figura 4.18 - Sistemas orgânicos que possuem sinais conhecidos	56
Figura 4.19 - Sinais presentes no sistema digestivo do paciente	57
Figura 4.20 - Opção: Perguntar sobre sinais oculares	57

Lista de Figuras

Figura 4.21 - Seleção dos possíveis campos oculares	58
Figura 4.22 - Pergunta feita: O paciente apresenta hemorragia retiniana ?	58
Figura 4.23 - Avaliação e resposta da pergunta feita	59
Figura 5.1 - Comunicação entre os módulos do STI Oftalmo	61
Figura 5.2 - Exemplo de Modelo Geral	65
Figura 5.3 - Interseção dos Modelos Geral e Específico	68
Figura 6.1 - Regras do conjunto de Preparação	76
Figura 6.2 - Regras do conjunto Estratégias de Ensino	77
Figura 6.3 - Regras do conjunto de Apresentação	78

CAPITULO I

1. Introdução

Os Sistemas Tutores Inteligentes (STI) surgiram a partir dos sistemas de Instrução Assistida por Computador, - CAI -, desenvolvidos nos anos 50. O maior avanço dos STI é o uso de técnicas de representação de conhecimento para representar estratégias instrucionais. Outro fator estimulador para o desenvolvimento de STI é a possibilidade de tornar disponível para alunos e/ou treinandos em um domínio específico, o conhecimento formalizado e armazenado em um sistema especialista.

O desenvolvimento dos STI segue a mesma tendência dos sistemas especialistas, evoluindo das aplicações específicas para ferramentas de propósito geral, independentes do domínio, cuja execução é dependente dos dados e cujo conhecimento está contido na base de conhecimento do domínio.

Os STI têm o objetivo central de facilitar a aquisição de conhecimento através dos recursos oferecidos pelos computadores, podendo utilizar conhecimento específico a um domínio, análise de erros, e modelagem do usuário.

As estratégias instrucionais controlam a adequação da instrução ao usuário, apresentando problemas e testando a compreensão do conteúdo.

O poder dos STI reside na sua boa definição e integração, no sentido de que é possível ter um conteúdo bem articulado aliado a uma teoria explícita de instrução, representada pelas estratégias instrucionais. Os problemas mais complexos no desenvolvimento de um STI residem na definição dos seguintes aspectos:

- nível de complexidade adequado dos modelos que representam o conhecimento do usuário;
- como o usuário aprende novos conteúdos; e
- qual a teoria instrucional apropriada.

Podem ocorrer casos onde o aluno utilize uma representação além do escopo do sistema. O que o sistema deveria fazer ao constatar que não compreende o que o aluno está pensando? O sistema precisaria dispor de uma coleção extensa de representações para tomar uma decisão deste tipo.

Alguns sistemas já são capazes de aprender a partir de interações com especialistas. Enquanto as pessoas aprendem mais pela experiência, os computadores, ao contrário, aprendem mais pela quantidade de informação que lhes são transmitidas.

Um sistema instrucional ideal deveria ser capaz de aprender novas representações, aplicáveis ao seu domínio de conhecimento, de modo a entender alguma maneira alternativa de pensar, ou resolver um problema.

Este trabalho se refere aos Sistemas Tutores Inteligentes (STI), considerando como objetivos básicos:

- . proporcionar um ambiente para treinamento em uma área de conhecimento;
- . proporcionar um ambiente para a exploração de conhecimento;
- . otimizar processos; e
- . modelar o processo de raciocínio humano, na resolução de determinados conjuntos de problemas.

Os STI se utilizam de técnicas de Inteligência Artificial (IA), para tornar o ambiente de aprendizagem adaptável ao aluno. Possuem uma representação do domínio ao qual se aplica o conhecimento, e do estado de conhecimento do aprendiz. Permitem, também, a observação e teste de hipóteses, detectando a necessidade de fornecimento de informações, avaliação de graus de certeza sobre certas decisões e interrupção de processos de exploração.

O desenvolvimento de STI envolve o estudo do processo de ensino-aprendizagem e da comunicação de conhecimento. Em outras palavras, as pesquisas sobre STI envolvem o estudo da psicologia cognitiva, ou seja, a análise de como os seres humanos aprendem, além de estudos sobre pedagogia, lingüística, representação e transmissão de conhecimento.

Um STI possui conhecimento sobre um domínio específico, normalmente representado por um sistema especialista (SE). A função de um STI é facilitar e monitorar o aprendizado de um aluno em uma determinada área de conhecimento.

A principal motivação para o desenvolvimento do STI Oftalmo foi tornar disponível para o ensino/treinamento de estudantes, o conhecimento sobre diagnóstico de síndromes oculares existente no sistema especialista Oftalmo [CHIA 86]. O Oftalmo foi desenvolvido para auxiliar um oftalmologista a diagnosticar síndromes oculares. O STI Oftalmo utiliza a base de conhecimento do Oftalmo para a discussão de casos com o aluno.

O desenvolvimento do STI Oftalmo foi iniciado com um estudo do Oftalmo, detectando que tipo de conhecimento poderia ser transmitido ao aluno. Foi especificada uma interface capaz de conduzir o diálogo sobre o conhecimento em discussão. A seguir foi especificada a estrutura global do STI, dividindo-o em módulos com funções bem definidas. Finalmente, foram pesquisadas várias estratégias de ensino com o objetivo de definir as regras tutoriais e as primitivas de acesso à base de conhecimento do Oftalmo.

O CAPITULO II apresenta uma breve discussão sobre o paradigma entre os sistemas CAI convencionais e os STI, apresentando suas principais diferenças e introduzindo os conceitos básicos necessários ao entendimento do funcionamento e organização dos STI. Adicionalmente, apresenta os componentes normalmente presentes em um STI, segundo a abordagem de Hartley e Sleeman em [HART 73].

No CAPITULO II também são descritos alguns trabalhos que, apesar de não representarem o estado da arte em STI, foram importantes para o desenvolvimento das pesquisas na área. São eles:

- . O SCHOLAR;
- . O SOPHIE-I; e
- . O GUIDON.

O CAPITULO III apresenta o sistema especialista Oftalmo que foi utilizado como base para o desenvolvimento do STI Oftalmo. Neste capítulo são apresentadas sua estrutura e o processo de diagnóstico de síndromes oculares embutido em seu mecanismo de inferência. Adicionalmente, são descritas algumas das modificações realizadas sobre o mesmo com o intuito de obter as informações necessárias ao ensino.

O CAPITULO IV apresenta uma visão geral do STI Oftalmo, enfatizando a importância da formalização do conhecimento a respeito do diagnóstico de síndromes oculares por parte do aluno. Este capítulo também descreve cada uma das etapas que compõem uma sessão tutorial com o sistema desenvolvido.

O CAPITULO V apresenta a modelagem do estudante utilizada no STI Oftalmo e alguns detalhes de sua implementação. Ainda neste capítulo são apresentadas as informações que podem ser obtidas a partir do modelo do estudante. Estas informações se referem à qualidade das ações que o aluno executa, em comparação com as ações executadas pelo sistema especialista.

O CAPITULO VI apresenta o módulo de estratégias de ensino. Este módulo executa ações instrucionais com base nas condições determinadas pelo modelo do estudante. Adicionalmente, são apresentados os conjuntos de regras que o compõem.

O trabalho é concluído no CAPITULO VII com a apresentação de alguns comentários relativos à

abrangência das pesquisas relacionadas aos STI. Neste capítulo, também são sumarizadas algumas dificuldades encontradas durante o desenvolvimento do trabalho, bem como sugestões para sua continuação.

CAPITULO II

2. Sistemas Tutores Inteligentes

Os primeiros sistemas instrucionais implementados foram essencialmente marcados pela utilização de quadros durante o processo de instrução. Quadros são unidades instrucionais pré-armazenadas que representam partes componentes do curriculum e são mostrados ao aluno com o intuito de apresentar um material instrucional ou fazer-lhe perguntas. A utilização de quadros deu origem a classificação desses sistemas como CAI orientados-a-quadros.

Os programas dos sistemas CAI tradicionais são estruturados estaticamente, de maneira que seus procedimentos internos contém, implicitamente, o conhecimento sobre o domínio a ser apresentado ao aluno e o conhecimento sobre as estratégias pedagógicas utilizadas pelo professor. Neste caso, o uso do computador no ensino pode ser comparado com o uso de livros, porque não passam de objetos que armazenam o conhecimento dos autores.

As pessoas que lêem um livro têm acesso ao conhecimento armazenado pelo autor, segundo princípios que refletem a sua didática e estratégia pedagógica. Estes princípios são oriundos de suas experiências

anteriores. Entretanto, um livro é incapaz de responder a uma dúvida ou interesse do leitor, por exemplo, posicionando-se na página que se refere a um determinado assunto. Também não é viável modificar o seu conteúdo de forma a adaptar-se às necessidades de um leitor.

A criação de um sistema CAI envolve um processo, que pode ser bastante sofisticado, de conversão de decisões pedagógicas em um programa. No entanto, todas as circunstâncias nas quais é necessária uma tomada de decisão devem ser antecipadas, de forma a adequar o código do programa às mesmas.

Segundo Carbonell, em [CARB 70b], construir um sistema orientado-a-quadros pode se tornar uma tarefa bastante cansativa e tediosa para um professor que tenha que programar todos os detalhes da interação.

A principal característica dos sistemas CAI tradicionais é que eles refletem as experiências pedagógicas dos professores diretamente no comportamento dos programas, sem realizar nenhuma articulação dos processos embutidos no seu conhecimento.

No início dos anos 70, mais precisamente com o advento do Scholar, desenvolvido por Jaime Carbonell [CARB 70a], começaram a surgir os Sistemas Tutores Inteligentes - STI.

Diferentemente dos sistemas CAI, os STI se caracterizam pela separação entre as estratégias pedagógicas empregadas para a instrução e o conhecimento a ser apresentado ao aluno. Tanto o conhecimento sobre o domínio quanto as estratégias de

ensino são codificadas explicitamente, enquanto nos sistemas CAI elas estão implícitas no sequenciamento pré-definido da apresentação dos quadros.

Na verdade, do ponto de vista comportamental, não há uma linha bem definida diferenciando os dois tipos de sistemas. Por exemplo, existem sistemas CAI, tão sofisticados, que possuem capacidade de gerar exercícios [UHR 69] ou adaptar-se ao nível do aluno através da avaliação do seu conhecimento.

Sistemas que utilizam técnicas de IA permitem diferentes graus de articulação do conhecimento, que é a capacidade de expressar, de maneira inteligível, o conhecimento existente.

A codificação explícita do conhecimento do domínio e do conhecimento pedagógico é a principal característica dos sistemas educacionais que utilizam técnicas de IA: em vez de se programar as decisões, programa-se o conhecimento.

A diferença entre os sistemas CAI e os STI, em termos comportamentais, reflete a metodologia empregada no desenvolvimento dos mesmos, a qual possibilita classificá-los de acordo com as técnicas utilizadas.

2.1. Componentes

Antes da descrição dos componentes de um STI, é necessária a definição de alguns conceitos básicos, tais como Comunicação de Conhecimento e Sistemas de Comunicação de Conhecimento.

Comunicação de conhecimento é a ação de causar e/ou dar suporte à aquisição de conhecimento a outra

pessoa, utilizando-se de um conjunto restrito de operações de comunicação [WENG 87].

Sistemas de comunicação de conhecimento são sistemas que têm acesso a uma representação do conhecimento a ser comunicado [WENG 87].

A especificação de um conjunto restrito de operações de comunicação, tais como: linguagem, telas gráficas, exercícios, etc., é um fator de limitação na verificação e transferência dos estados internos do programa.

Existem, basicamente, duas arquiteturas para o desenvolvimento de STI, as quais representam duas correntes que guiam as pesquisas em torno dos STI. São elas:

- . Hartley e Sleeman, [HART 73]; e
- . Anderson et. al, [ANDE 85].

A abordagem de Anderson difere da abordagem de Hartley e Sleeman, pela não utilização do modelo do estudante.

Segundo a abordagem de Hartley e Sleeman, [HART 73], os STI normalmente são divididos nos seguintes módulos:

- . Sistema Especialista;
- . Modelo do Estudante;
- . Conhecimento Pedagógico; e
- . Interface com o usuário.

A figura 2.1 mostra como os componentes de um STI interagem entre si: o sistema especialista contém o

conhecimento sobre um domínio qualquer; o módulo de modelagem do estudante contém informações a respeito do desempenho do aluno; o conhecimento pedagógico contém as estratégias de ensino a serem aplicadas e a interface conduz o diálogo aluno-STI.

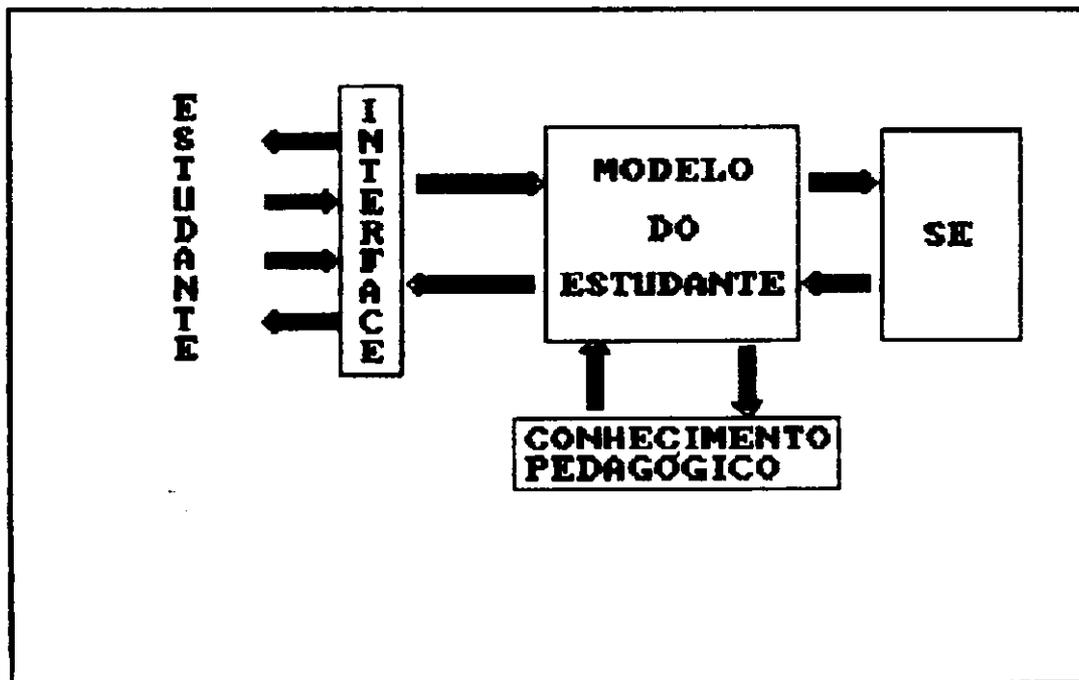


Figura 2.1 - Componentes de um STI.

2.1.1. O Sistema Especialista

O objeto da comunicação entre o STI e o aluno é um subconjunto do conhecimento sobre um domínio específico. O sistema especialista representa esse conhecimento de maneira acessível ao sistema. Este módulo desempenha duas funções:

- . Fonte de conhecimento; e
- . Modelo para a avaliação do desempenho do aluno.

Na primeira função, o sistema especialista deve ser capaz de gerar explicações e respostas para o aluno, bem como elaborar tarefas e perguntas.

Na função de modelo de avaliação, o sistema especialista deve ser capaz de gerar soluções para os problemas apresentados ao aluno. As decisões do SE servirão de parâmetro para comparação com as respostas do aluno.

É importante que o sistema especialista seja capaz de gerar vários caminhos de solução, em vez de um caminho único, como acontece nos sistemas cuja meta é, simplesmente, a resolução do problema. Outro aspecto importante é o estabelecimento de medidas que permitam a comparação do conhecimento. Quando isto é possível diz-se que o sistema especialista representa explicitamente a meta de ensino [WENG 87].

O conhecimento sobre o domínio, no entanto, não é suficiente para dar suporte a decisões pedagógicas. Relações de pré-requisito, medidas de grau de dificuldade, relações conceituais e taxonômicas também são importantes na montagem de sequências instrucionais.

2.1.2. O Modelo do Estudante

Nenhuma comunicação de conhecimento pode ocorrer sem haver um certo entendimento por parte do interlocutor [WENG 87] que, no caso dos STI, é o aluno.

O modelo do estudante representa aquilo que o aluno entendeu a respeito do conhecimento que lhe foi comunicado. Idealmente, deve conter todo tipo de informação importante para o aprendizado do aluno e

avaliação do seu desempenho. Deve, também, ser capaz de descrever o seu comportamento e conhecimento. Entretanto, esta é uma tarefa bastante difícil, mesmo para tutores humanos, os quais possuem avançados canais de comunicação, tais como: visão, audição, etc., além de todo o conhecimento adicional relacionado ao assunto em questão.

A utilização de modelos executáveis em determinado domínio, torna possível inferir aspectos não observáveis do comportamento do aluno, de maneira a produzir uma interpretação das suas ações e reconstruir o conhecimento que deu origem às mesmas.

O modelo do estudante é gerado separadamente do modelo do domínio, o que permite a distinção entre ambos. O conhecimento do aluno pode, então, ser comparado com o conhecimento do sistema especialista, permitindo uma melhor adequação do material instrucional a ser apresentado, de maneira a exercitar aquelas partes do conhecimento onde o aprendiz se mostra deficiente.

É importante que o modelo do estudante contenha informações a respeito da possível origem do conhecimento incorreto, ou seja, quais foram as causas que levaram o aluno a uma mal-conceituação ou incompreensão.

O modelo do estudante pode ser representado utilizando a mesma linguagem utilizada para representar o conhecimento no sistema especialista. Entretanto, apenas isto não é suficiente, visto que, o modelo do estudante precisa representar também os erros cometidos pelo aluno. As soluções normalmente convergem para duas direções:

- . A especificação de uma linguagem capaz de exprimir o conhecimento correto e incorreto;
- e
- . A elaboração de um catálogo de erros.

No primeiro caso, o modelo do estudante é representado por primitivas dessa linguagem. Estas primitivas precisam ter uma granularidade suficiente para permitir a representação tanto do conhecimento correto, quanto do conhecimento incorreto: todas as mal-conceituações e incompreensões possíveis. Isto evita a necessidade de antecipar todos os erros. Porém, é bastante difícil, se não impossível, definir tal linguagem, apenas com a utilização de um conjunto restrito de primitivas, e manter o espaço de pesquisa em níveis suportáveis.

No segundo caso, uma grande quantidade de informações sobre os erros que ocorrem com maior frequência em um determinado domínio é armazenado na forma de um catálogo. Esse catálogo utiliza as primitivas da linguagem de implementação do STI. O sistema, então, seleciona nos modelos de conhecimento correto e incorreto aqueles que correspondem ao comportamento do aluno.

2.1.3. O Conhecimento Pedagógico

A diferença básica entre STI e sistemas CAI é que as decisões pedagógicas embutidas nos mecanismos de desvios destes, são codificadas explicitamente naqueles. Desse modo, as decisões didáticas podem ser derivadas a partir de regras especiais, ou estruturas equivalentes, que representam o conhecimento pedagógico do sistema. A representação explícita do conhecimento permite a esses sistemas se adaptarem mais facilmente

ao aluno e, também, o melhoramento das estratégias utilizadas.

Decisões didáticas são tomadas com base em consultas feitas ao modelo do estudante e ao sistema especialista (modelo do domínio). Em um nível global, as decisões didáticas afetam a sequência dos eventos instrucionais, ou seja, causam a adaptação da apresentação às necessidades do aluno. Em um nível local, essas decisões determinam a necessidade de intervenções, bem como o que pode ou deve ser dito em determinado momento.

Algumas vezes é desejável deixar o aluno errar sem interrompê-lo. Entretanto, deve-se tomar cuidado para não deixá-lo afastar-se demais dos caminhos que o levariam a uma boa solução. Existem sistemas, chamados monitores, que detém todo o controle da atividade de instrução, sem que o aluno tenha liberdade de agir por iniciativa própria. Outros sistemas, que permitem a iniciativa de ambas as partes, compartilham o controle com o aluno através de um processo de troca de perguntas e respostas. Neste caso, os sistemas podem elaborar perguntas cujas respostas vão ajudá-lo a entender o que o aluno está tentando fazer ou o que ele sabe. E finalmente, alguns sistemas dão total liberdade ao aluno para controlar a atividade de instrução, num esquema de aprendizagem por descobertas, onde se enquadram os tutores pelo método socrático.

2.1.4. A Interface com o Aluno

A interface é responsável por dar uma forma final às ações instrucionais geradas pelo módulo de conhecimento pedagógico. Basicamente, a interface traduz a representação interna do sistema para uma linguagem inteligível ao aluno.

O sucesso da comunicação de conhecimento depende fundamentalmente da interface. A apresentação de um tópico pode se tornar mais ou menos compreensível de acordo com a forma utilizada.

A medida que o avanço tecnológico proporciona o desenvolvimento de dispositivos mais eficazes na transferência de informação, aumenta a importância da interface no contexto geral dos sistemas. O poder de comunicação destes dispositivos pode dirigir toda a atividade de projeto de um sistema.

O processamento de linguagem natural é um tipo de interface quase sempre considerado nos estudos sobre sistemas de comunicação de conhecimento. Entretanto, o entendimento de textos têm se mostrado uma tarefa bastante complexa, envolvendo problemas relacionados com inferências contextuais, anáforas, conhecimento incompleto, ambigüidades, etc., muitos deles ainda sem solução viável.

Atualmente, os sistemas lidam com interações verbais de diversas formas: desde o uso de menus fixos com perguntas de múltipla escolha até o uso de pseudo-linguagem natural; desde o uso de textos pré-armazenados, típicos dos sistemas CAI, até o uso de complexas estruturas de quadros [WENG 87].

Existe também uma tendência ao uso de gráficos na suplementação e, até mesmo, substituição dos textos no desenvolvimento dos STI.

2.2. Exemplos

Muitos trabalhos interessantes têm sido desenvolvidos desde que Carbonell, em [CARB 70a], apresentou o Scholar. Por exemplo, o Lisp Tutor, [ANDE 85], desenvolvido por Anderson et. al, para ensinar a programar em lisp, o FGA (French Grammar Analyser), desenvolvido por Yazdani, [YAZD 87], para ensinar francês a alunos ingleses e o Froust, desenvolvido por Johnson e Soloway, [JOHN 87], que detecta erros lógicos de programas em Pascal, tentando inferir a sua causa e ajudar na sua correção.

Também foram desenvolvidas ferramentas para a construção de STI (shell), como por exemplo o Pixie [SLEE 87].

A seguir são apresentados três sistemas que foram particularmente importantes para as pesquisas em STI: o Scholar, o Sophie-I e o Guidon.

2.2.1. O Scholar

Em 1970, Jaime Carbonell apresentou uma proposta de novas arquiteturas para o desenvolvimento de sistemas educacionais [CARB 70a]. Pela primeira vez se fazia a distinção entre os sistemas CAI orientados-a-quadros e os sistemas CAI orientados-a-estrutura-da-informação, cuja definição se aproxima dos atuais STI.

tutoriais necessárias para conduzir, efetivamente, um diálogo.

Algumas melhorias relativamente simples permitiram a implementação de técnicas de inferência normalmente utilizadas por pessoas, tais como inferências negativas, suposições, falta de conhecimento, etc..

Inferências negativas representam uma classe de inferências muito importante que lida, essencialmente, com conjuntos abertos. A contradição normalmente é utilizada por pessoas para fazer inferências negativas e, no Scholar, ela pôde ser obtida através da implementação de marcas na rede, informando sobre a exclusão mútua entre pares de relações, e sobre qualificações de conjuntos como sendo fechados.

Informações sobre exclusão mútua permitem inferências do tipo: " Se um objeto é uma cidade, então ele não pode ser um rio, porém pode ser uma capital." . Informações sobre conjuntos fechados assegura que uma propriedade pertencente a uma sub-parte, também pertence ao objeto mais global. Por exemplo, se nenhum país do continente produz açúcar, então o continente também não o produz; pelo fato de que os países de um continente constituem um conjunto fechado.

As suposições podem ser originadas a partir de marcas em certas relações significando unicidade. Por exemplo, se o presidente de um país é José da Silva, então o presidente deste país não pode ser outro.

A falta de conhecimento resulta do fato de que a base de dados pode estar incompleta. Por exemplo, se ouro não pertence à lista de produtos do Uruguai, isto

não quer dizer que o Uruguai não o produz. Entretanto, se o ouro pertence à lista de produtos de algum país com características semelhantes às do Uruguai, então pode-se imaginar que ele não o produz, porque se produzisse, provavelmente o sistema teria conhecimento disto. Se o ouro é um produto importante para o Brasil, e no mesmo nível de profundidade na rede o Uruguai possui outro produto com importância semelhante, então, esta pode ser uma indicação de que o Uruguai não produz ouro apesar de nada ter sido explicitamente informado.

Durante o desenvolvimento do Scholar foram estudadas várias técnicas de inferência. A utilização de marcas de incerteza e a propagação das mesmas pela rede é uma delas. Outro exemplo é a análise funcional, que envolve a análise dos fatores dos quais depende uma hipótese.

2.2.2. O SOPHIE-I

A proposta do SOPHIE (SOPHisticated Instructional Environment) [BROW 82] é dar ao aluno a possibilidade de desenvolver suas próprias idéias na análise de defeitos em circuitos eletrônicos. O sistema critica e dá sugestões sobre as ações do aluno em um ambiente denominado Ambiente Ativo de Aprendizagem.

As duas maiores contribuições do Sophie foram: a interface em linguagem natural; e o mecanismo de raciocínio baseado em simulações.

A interface em linguagem natural do Sophie é considerada bastante robusta. É capaz de entender corretamente quase todas as sentenças geradas pelos usuários e está baseada no conceito de gramáticas semânticas, cujas regras decompõem categorias globais

em seus componentes, do mesmo modo que as gramáticas sintáticas. Entretanto, as gramáticas semânticas decompõem conceitos do domínio (categorias semânticas), em vez de decompor categorias sintáticas (do tipo frase nominal e verbal). O resultado é uma estrutura do tipo:

$\langle \text{medição} \rangle ::= \langle \text{quantidade} \rangle \langle \text{preposição} \rangle$ $\langle \text{localização} \rangle$

Os componentes são definidos recursivamente até o nível de átomos.

A presença de informações semânticas nos mecanismos de análise sintática exige que o domínio seja bem definido e limitado.

O objetivo do Sophie não era funcionar como uma fonte completa de conhecimento, o que fez com que fosse dada uma menor ênfase ao conhecimento pedagógico resultante. O Sophie não possui nem modelo do estudante, nem uma declaração explícita do conhecimento sobre o domínio.

O conhecimento sobre o domínio é representado através de um modelo matemático do circuito (baseado em simulações), um conjunto de especialistas que utilizam este modelo (procedimentos), e um conjunto de fatos arranjados em uma rede semântica (declarações).

Em geral, uma sessão tutorial com o SOPHIE inicia com a apresentação de um circuito com uma falha colocada pelo sistema (com vários níveis de dificuldade). O aluno deverá tentar diagnosticá-la e propor uma solução. Para tanto, é permitido que perguntas e consultas sejam feitas ao sistema a respeito de medições em vários pontos no circuito.

Os sistemas especialistas embutidos no Sophie realizam basicamente quatro funções, a saber:

- . responder a perguntas hipotéticas;
- . avaliar hipóteses;
- . listar hipóteses consistentes com as medidas feitas; e
- . avaliar novas medidas propostas pelo aluno.

O sistema verifica a consistência entre uma nova medida e o conjunto de medições feitas pelo aluno até aquele instante, informando sobre contradições com medidas anteriores e independência com relação à hipótese atualmente em consideração.

2.2.3. O Guidon

O Guidon [CLAN 87] é um sistema tutor inteligente desenvolvido a partir do sistema especialista Mycin, com a intenção de colocar à disposição dos alunos o conhecimento sobre diagnóstico de doenças infecciosas nele contido.

O sistema especialista Mycin foi desenvolvido objetivando a resolução eficiente de problemas relacionados ao diagnóstico de doenças infecciosas e suas respectivas terapias. Uma grande contribuição deste sistema foi a separação entre a base de conhecimento e o interpretador que a aplica a um problema específico.

A base de conhecimento do Mycin consiste de um conjunto de 450 regras de produção, e um conjunto de fatos e relações armazenados em tabelas.

Apesar de sua eficiência na resolução de problemas, a capacidade de explicação do Mycin é insuficiente para o uso em ensino. Foram necessárias algumas modificações, de caráter estrutural, para dar suporte a explicações mais completas.

As estratégias de ensino do GUIDON são codificadas em um módulo separado do domínio das doenças infecciosas, podendo ser utilizadas em qualquer sistema com a mesma estrutura de conhecimento do Mycin.

A intenção do GUIDON é aumentar o conhecimento do aluno sobre as evidências a serem consideradas no diagnóstico de uma doença infecciosa, apontando linhas de raciocínio erradas e sugerindo alternativas ainda não consideradas pelo aluno. Para tanto é necessário que o aluno conheça o vocabulário usado na área e também a maneira de solucionar o caso.

No sistema GUIDON, o aluno executa a função de um especialista. Um paciente é descrito em termos gerais (idade, sexo, exames laboratoriais, etc.), e o aluno pode pedir as informações adicionais que achar relevantes para o caso. Suas perguntas são comparadas às perguntas feitas pelo Mycin e criticadas. Quando o aluno traça uma hipótese, o GUIDON a compara com as conclusões a que o Mycin chegou, conhecidas as mesmas informações sobre o paciente. Esta interação é denominada diálogo por casos. Por isso o GUIDON é considerado um tutor pelo método de casos.

Segundo os autores do GUIDON, um diálogo dirigido à meta é uma discussão das regras aplicadas para se atingir metas específicas. Em geral, os tópicos desse diálogo são as metas concluídas pelas regras do Mycin. Por exemplo, uma sequência de metas seria:

chegar a um diagnóstico, determinar os organismos causadores da infecção, determinar o tipo da infecção, etc..

Com o objetivo de tornar o diálogo mais flexível o GUIDON coloca a disposição do aluno uma série de informações que podem ser solicitadas, tais como:

- . dar a descrição de todos os dados relevantes a uma meta;
- . listar uma sub-árvore de uma meta;
- . dar uma dica para a meta atual;
- . dar um resumo de todas as evidências já discutidas para uma meta (dados e regras mencionados); e
- . a conclusão de uma discussão.

Os objetos, atributos e valores importantes na resolução de um caso são determinados a priori, através de uma consulta ao Mycin antes do início de uma sessão tutorial.

O Mycin gera uma árvore AND/OR para o caso. Os nodos OR representam as metas e os nodos AND representam as regras que foram utilizadas durante a consulta. Aproximadamente 20% das 450 regras do Mycin levam a conclusões que contribuem satisfatoriamente para a crença sobre as metas.

O GUIDON foi formalizado em termos de regras e procedimentos que codificam o conhecimento necessário para conduzir um diálogo de casos.

Existem, basicamente, três tipos de conhecimento implementados no GUIDON:

- . conhecimento sobre modelos de diálogo;
- . conhecimento sobre o domínio; e
- . conhecimento sobre a situação de comunicação.

O primeiro tipo de conhecimento do GUIDON, utiliza modelos de ações representados por procedimentos de discurso capazes de gerar interações. Os procedimentos de discurso representam seqüências de ações adequadas a determinadas situações em um diálogo. Por exemplo, há momentos nos quais uma pergunta é necessária e outros onde explicações são esperadas. Estes procedimentos são ativados pelas regras tutoriais, descritas posteriormente.

O segundo tipo de conhecimento do GUIDON, conhecimento sobre o domínio, foi dividido em três camadas:

- . camada de execução;
- . camada de suporte; e
- . camada de abstração.

A camada de execução consiste de todas as regras e tabelas utilizadas pelo sistema especialista (Mycin) para traçar conclusões sobre os dados iniciais.

A camada de suporte contém anotações sobre as regras na forma de textos pré-armazenados, descrevendo, por exemplo, testes de laboratório.

A camada de abstração representa modelos do conhecimento sobre o domínio, ao qual a regra pertence. Por exemplo, um esquema de regras representa um conjunto de regras que apresentam as mesmas características, tais como as condições existentes nas

premissas, a meta concluída e o contexto da sua aplicação.

O conhecimento sobre a situação de comunicação do GUIDON, também conhecido como modelo da comunicação, possui três componentes:

- . o modelo do estudante;
- . o gerador de planos; e
- . o registro de foco.

O GUIDON executa as regras do domínio que foram aplicadas ao caso em questão, enquanto os dados sobre o mesmo são informados ao aluno. Desta forma, o sistema sempre sabe o que o sistema especialista concluiria baseado nas informações disponíveis. O histórico da aplicação das regras auxilia na determinação de quais hipóteses são do seu conhecimento. Este tipo de modelagem é denominada OVERLAY porque o conhecimento do aluno é modelado como um subconjunto da base de regras do sistema especialista, como se estivesse sendo sobreposto.

Algumas regras tutoriais, chamadas t-regras, são responsáveis pela atualização do modelo do estudante cada vez que o sistema aplica uma regra do domínio com sucesso. As regras do domínio são chamadas d-regras. Essas t-regras tomam decisões baseadas na complexidade da d-regra, na crença do sistema de que o aluno conhece as suas sub-metas, na "bagagem" de conhecimento do aluno e nas evidências obtidas de interações anteriores.

O gerador de planos é responsável por um planejamento da discussão sobre determinados tópicos, especialmente, determinando o nível de profundidade

desejável). O plano gerado é baseado em informações obtidas no modelo do estudante, no interesse demonstrado pelo aluno sobre determinado tópico, na importância intrínseca (dentro de um caso) e extrínseca de um tópico (dentro de um universo de casos).

O registro de foco tem a função de manter a continuidade durante o diálogo. Consiste de um conjunto de variáveis globais que são atualizadas quando o aluno faz uma pergunta sobre uma meta qualquer.

As estratégias de ensino no GUIDON são codificadas através de regras tutoriais. Existem regras para selecionar modelos de discurso, outras para selecionar conhecimento sobre o domínio e um terceiro tipo de t-regras é responsável pela atualização do modelo de comunicação.

Infelizmente, o Guidon não obteve total êxito entre os alunos devido ao fato de que suas informações não possuíam um significado real para aqueles que o utilizavam. As experiências continuaram dando origem ao Guidon II e ao NeoMycin. Este sistema possui características completamente diferentes do primeiro, incluindo técnicas avançadas de aprendizagem por máquinas e maior capacidade de articulação do conhecimento.

CAPITULO III

3. O Sistema Especialista Oftalmo

O Sistema Especialista Oftalmo surgiu da necessidade de coletar, processar, armazenar e recuperar grandes quantidades de informação relacionadas a síndromes oculares.

Segundo [CHIA 86], uma síndrome é definida como um grupo de sintomas e/ou sinais que, considerados em conjunto, caracterizam uma moléstia. Um sintoma é um fenômeno físico ou psíquico, comum a muitas moléstias. Um sinal é uma evidência objetiva, uma manifestação da moléstia. Quando neste conjunto se encontram sintomas ou sinais relacionados com o sistema ocular, diz-se que esta síndrome é uma síndrome ocular.

Dois premissas básicas orientaram o desenvolvimento do Oftalmo [CHIA 86]:

- . A formalização do conhecimento e experiência médica, tornando-os passíveis de teste e reprodução; e
- . A utilização do computador para a resolução dos problemas, utilizando o mesmo método de raciocínio do especialista, visando aumentar a sua produtividade.

O especialista lida com dois tipos de informação: a que obtém do paciente através de exames físicos e laboratoriais; e a proveniente do seu conhecimento e experiência.

O Oftalmo é um sistema de produção, onde a base de dados global é representada pelas informações obtidas do paciente, a base de conhecimento é representada pelos sinais, síndromes e regras que os relacionam, e o sistema de controle é representado por um mecanismo de avaliação das regras e seleção de possíveis diagnósticos.

Cada síndrome presente no Oftalmo é determinada por um conjunto de sinais. Os sinais são divididos em Oculares e Gerais.

Os sinais oculares são aqueles relacionados com o sistema de visão do paciente. Os sinais gerais, por sua vez, são aqueles encontrados no restante do seu corpo (cabeça, mãos, pele e outros).

Os sinais oculares são agrupados em campos oculares, que representam as áreas dos olhos onde esses se encontram. Os campos oculares não correspondem, necessariamente, a áreas físicas onde estão presentes os sinais. Podem ser divisões lógicas, normalmente feitas por especialistas em oftalmologia, visando uma melhor estruturação do processo de diagnóstico.

Os campos oculares constantes no Oftalmo são os seguintes:

órbita;
pálpebra;
motilidade;
aparelho lacrimal;
visão;
campo visual;
tensão intra-ocular;
segmento anterior, esclerótica e meios oculares;
retina e coróides; e
nervo óptico.

Os campos oculares podem ser divididos em sub-campos oculares. Por exemplo, o campo ocular Visão se divide nos seguintes sub-campos oculares:

Cegueira;
Qualidade da Visão; e
Outros Itens.

O campo ocular Segmento Anterior, Esclerótica e Meios Oculares se divide nos seguintes sub-campos oculares:

Pupila;
Conjuntivas;
Córnea;
Iris;
Esclerótica;
Câmara Anterior;
Cristalino; e
Vítreo.

Os sinais gerais foram agrupados em:

Sinais Cardiovasculares;
Sinais do Aparelho Digestivo;
Sinais Endócrinos;
Sinais Musco-Esqueléticos;
Sinais do Sistema Nervoso;
Sinais da Pele e Membranas Mucosas;
Sinais Respiratórios; e
Sinais Urinários.

Durante uma sessão com o Oftalmo, o médico observa o paciente e verifica quais os sinais oculares que o mesmo apresenta. A seguir, informa ao Oftalmo quais são os sinais presentes em cada um dos campos oculares acima descritos.

As informações sobre os sinais oculares apresentados pelo paciente permitem ao Oftalmo traçar várias hipóteses a respeito das síndromes por ele conhecidas. Uma lista dessas hipóteses, em ordem decrescente de graus de certeza, é apresentada ao médico.

Neste momento, o médico pode verificar quais são os sinais oculares e gerais, ainda não analisados no caso em estudo, que se relacionam com cada síndrome apresentada. Se for informada a presença ou ausência de algum destes sinais, as modificações são efetuadas, e o Oftalmo reavalia as hipóteses anteriormente consideradas, apresentando novos graus de certeza confirmando e/ou desconfirmando cada uma delas.

Uma informação importante que o Oftalmo fornece ao médico é o conjunto de sinais (oculares e gerais),

que determina uma síndrome. Caso o médico tenha se esquecido de verificar algum sinal importante, ele será alertado e poderá informar ao sistema a presença ou ausência do mesmo.

A presença confirmada de um sinal influi positivamente no diagnóstico daquelas síndromes que a ele se relacionam, enquanto a ausência confirmada de um sinal influi negativamente no diagnóstico das mesmas. Porém, se a presença ou ausência de um sinal é desconhecida pelo médico, ou seja, nada a respeito do sinal é informado ao Ótalmico, este sinal não causa nenhuma influência no diagnóstico.

O médico permanece neste ciclo de informação de sinais e reavaliação das hipóteses até que se dê por satisfeito com os graus de certeza que o sistema apresenta para as síndromes.

3.1. O Mecanismo de Inferência

Existem três tipos de regras de produção para a representação do conhecimento em um sistema especialista:

- . Observação - Observação;
- . Observação - Hipótese; e
- . Hipótese - Hipótese.

Em regras do tipo Observação - Observação, um sinal ou sintoma pode ser deduzido a partir de outros sinais. Por exemplo, no domínio de doenças infecciosas, a gripe pode ser uma indicação de pneumonia constituindo, portanto, em uma observação. No entanto, a própria gripe pode ser identificada por outras observações, por exemplo, coriza e rouquidão.

Em regras do tipo Observação - Hipótese, um diagnóstico ou hipótese pode ser determinado através de sintomas ou sinais. É o caso, por exemplo, de uma regra que associa a pneumonia com a gripe.

Regras do tipo Hipótese - Hipótese permitem que um diagnóstico seja inferido a partir de outro diagnóstico. Voltando ao exemplo anterior, uma regra deste tipo seria:

```
SE diagnóstico = pneumonia
ENTÃO organismo-causador = pseudomonas-aeruginosa
```

No caso específico do Oftalmo, o conhecimento foi estruturado utilizando-se regras do tipo Observação - Hipótese catalogadas em uma base de dados que relaciona as síndromes aos sinais que as identificam.

O mecanismo de inferência contém, basicamente, duas classes de regras. A primeira classe especifica as síndromes com base no quadro ocular do paciente, e a segunda as especifica com base no quadro geral.

As regras da primeira classe podem ser formalizadas da seguinte maneira [CHIA 86], utilizando a sintaxe do Prolog:

```
si(S) :- so(S,[o1, o2, ..., on]).
```

Onde:

S representa a síndrome; e

[o1,o2,...,on] representa a lista de sinais oculares que a define.

Estas regras levam à formação de hipóteses intermediárias que serão confirmadas, posteriormente, através da aplicação das regras da segunda classe, que podem ser formalizadas como se segue [CHIA 86]:

$$s(S) :- h(S,G,Gi), sg([g1,g2,...,gn],G,Gi).$$

onde:

$h(S,G,Gi)$ é a hipótese de que a síndrome S foi selecionada a partir dos sinais oculares;

G é o grau de certeza calculado a partir do quadro ocular;

G_i é o grau de certeza da etapa de avaliação anterior, calculado a partir do quadro geral e ocular do paciente;

$[g_1,g_2,...,g_n]$ é a lista de sinais gerais que caracteriza a síndrome.

O grau de certeza de uma síndrome é calculado com a utilização da seguinte fórmula [CHIA 86]:

$$GC = 100 * (SC / L) - 50 * (SN / L)$$

onde:

SC é a quantidade de sinais confirmados como presentes no paciente;

SN é a quantidade de sinais confirmados como ausentes no paciente;

L é o total de sinais que definem a síndrome.

Os produtos existentes na fórmula acima representam, respectivamente, o percentual de sinais presentes no paciente e o fator de atenuação deste percentual devido a ausência de sinais que caracterizam a síndrome no mesmo.

3.2. Modificações Realizadas

Para possibilitar a utilização do Oftalmo no ensino, foram necessárias algumas modificações na sua base de conhecimento e no seu mecanismo de inferência, de modo que fossem fornecidas maiores informações sobre as síndromes e seus relacionamentos com os sinais.

O Oftalmo, da forma como é estruturado, entende que todos os sinais que identificam uma síndrome têm a mesma importância. No entanto, existem sinais cuja presença determina, mais fortemente que outros, a presença de uma síndrome. Para solucionar este problema, foi implementado o conceito de importância de um sinal no STI Oftalmo.

A importância de um sinal corresponde a um coeficiente que reflete a opinião do especialista a respeito da contribuição deste sinal no diagnóstico de uma síndrome.

O STI Oftalmo possui também informações que determinam quais síndromes estão relacionadas a um sinal.

Estas modificações permitem responder a perguntas do tipo:

Qual dos dois sinais (a ou b) é mais importante para a determinação da síndrome S ?

A fórmula que calcula o grau de certeza de uma síndrome também foi modificada, passando a ser utilizado um modelo onde o grau de certeza de uma hipótese é incrementado ou decrementado de acordo com a confirmação ou negação das evidências e da importância dessas evidências na determinação desta hipótese. Os motivos desta modificação foram: a possibilidade de saber quanto cada sinal, individualmente, contribui para o diagnóstico de uma síndrome; e a possibilidade de modificação, por parte de um especialista, caso seja necessário. A nova fórmula é a seguinte:

$$Gc = GcAnt + ((100 - GcAnt) * ImpSinal) / 100$$

Onde:

Gc é o novo grau de certeza da síndrome que está sendo avaliada;

GcAnt é o grau de certeza que a síndrome possuía antes de se considerar o novo sinal (etapa anterior);

ImpSinal é a importância do sinal na determinação desta síndrome, ou seja, a contribuição do sinal.

No caso em que o primeiro sinal que determina uma síndrome é assinalado, o grau de certeza (GC) é igual a importância deste sinal no diagnóstico da mesma.

Ao realizar experiências atribuindo importâncias iguais a todos os sinais em uma mesma síndrome e executando o sistema com a nova fórmula, foram obtidos graus de certeza que variavam no máximo 5% em relação aos graus de certeza obtidos pelo sistema especialista Oftalmo, em casos idênticos. Entretanto, os resultados serão diferentes caso sejam atribuídas importâncias distintas para os sinais de uma mesma síndrome.

CAPITULO IV

4. STI Oftalmo: uma visão geral

O STI Oftalmo é um sistema para treinamento em diagnósticos de síndromes oculares, desenvolvido a partir do sistema especialista Oftalmo, seguindo a arquitetura proposta por Hartley e Sleeman [HART 73].

Em uma sessão tutorial com o sistema são simulados casos onde o aluno deverá relacionar sinais e síndromes, fazendo perguntas e formulando hipóteses sobre o caso, de forma a chegar a um diagnóstico com segurança, baseado em informações importantes, obtidas através de um procedimento otimizado. Isto é bastante desejável do ponto de vista prático, mas não é fácil obter do especialista explicações sobre os processos e os fatos que o levaram a determinado diagnóstico nos termos necessários ao desenvolvimento de um sistema especialista.

O conhecimento de um especialista não é estático. É modificado no dia a dia, com base nas experiências vividas, tornando-se mais simples e mais conciso. Este processo faz com que informações óbvias sejam, aos poucos, suprimidas da sua mente. A falta destas informações é a responsável pela dificuldade na

formalização do conhecimento por parte do especialista [WENG 87].

Tome-se por exemplo o caso de um mecânico diante de um automóvel cujo motor apresenta problemas no funcionamento. Inicialmente, o número de diagnósticos possíveis é muito grande. Porém, ao ouvir o barulho produzido ao ligar a chave, o mecânico consegue, quase precisamente, identificar o problema. Isto ocorre porque seu conhecimento já foi compilado a tal ponto que o barulho se tornou fator suficiente para o diagnóstico. Neste momento, o mecânico está desconsiderando a presença ou ausência de correntes elétricas em pontos importantes, rotações em eixos e outros fatos, para fazer uso de uma regra simplificada para o diagnóstico.

O seu conhecimento poderia ser formalizado da seguinte maneira, utilizando a sintaxe do Prolog:

```
diagnóstico(válvula) :- tem_corrente(velas),  
                        gira_eixo(comando_válvulas),  
                        tipo_barulho(coff_coff).
```

Com o passar do tempo, suas experiências mostraram que quase todas as vezes que o barulho era do tipo "coff_coff", então o automóvel possuía problemas nas válvulas. O seu conhecimento compilado seria formalizado da seguinte maneira:

```
diagnóstico(válvula) :- tipo_barulho(coff_coff).
```

A formalização do conhecimento permite a sua simplificação sendo, portanto, desejável que um STI auxilie o aluno nesta tarefa.

O STI Oftalmo utiliza o conhecimento do sistema especialista Oftalmo para auxiliar o aluno na formalização do seu conhecimento.

O importante no processo de diagnóstico do Oftalmo é o algoritmo executado pelo médico ao analisar um paciente. Este algoritmo e os relacionamentos entre os sinais e as síndromes, representam o conhecimento sobre diagnóstico de síndromes oculares do STI Oftalmo.

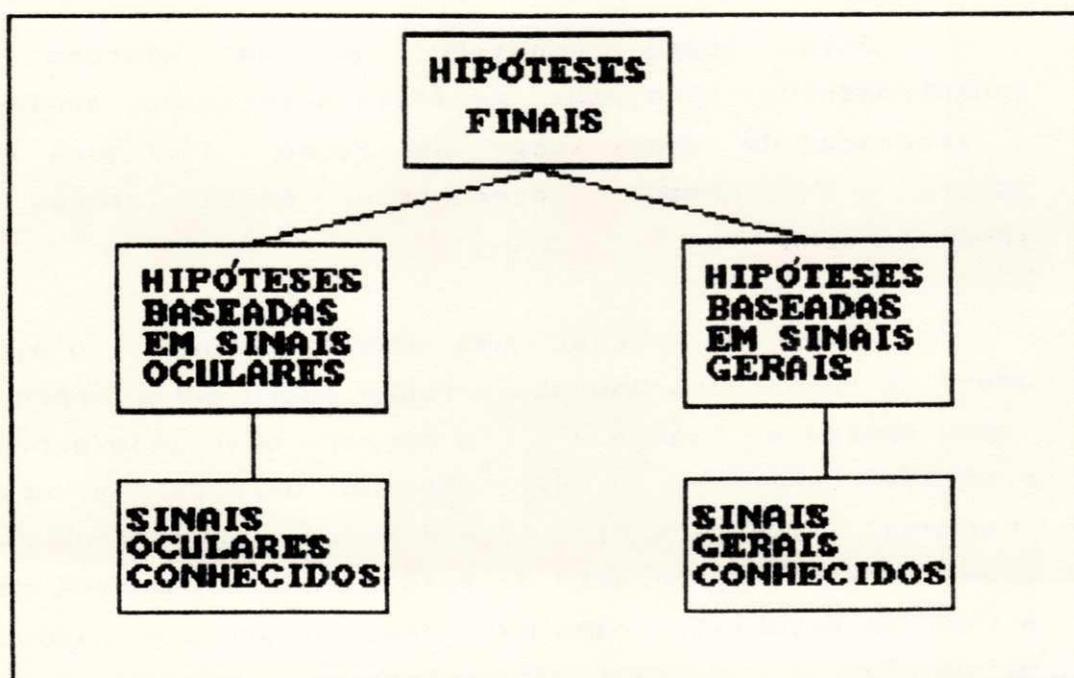


Figura 4.1 - Processo de Diagnóstico do Oftalmo.

O processo de diagnóstico do Oftalmo pode ser visualizado graficamente na Figura 4.1.

Uma sessão tutorial com o STI Oftalmo foi dividida nas 3 etapas a seguir, como mostra a Figura 4.2:

- . Identificação do Aluno;
- . Seleção de Caso e Resolução do Caso pelo Sistema Especialista; e
- . Sessão Tutorial, propriamente dita.

A seguir serão descritas cada uma das etapas do sistema.

4.1. Identificação do Aluno

Esta etapa consiste de um sistema de cadastramento, onde pode ser feita a inclusão, exclusão e alteração de dados sobre um aluno. A Figura 4.3 mostra o submenu apresentado nesta etapa de identificação.

Antes de iniciar uma sessão tutorial, o aluno deve se cadastrar caso não o tenha feito anteriormente, como mostra a figura 4.4. A seguir, deve informar que pretende utilizar o STI Oftalmo através da opção "carrega" (figura 4.5). Isto é necessário, porque cada aluno possui um conjunto de informações relevantes para a sessão tutorial, como por exemplo quais os casos já discutidos e o nível de conhecimento demonstrado nas sessões anteriores.

ao utilizar pela primeira vez o STI Oftalmo, o aluno é considerado iniciante pelo sistema. Este conceito pode mudar durante as sessões tutoriais de acordo com o desempenho do aluno. O sistema classifica o usuário em níveis que podem ser: iniciante, intermediário e experiente. Esta informação é usada para a seleção automática de casos.

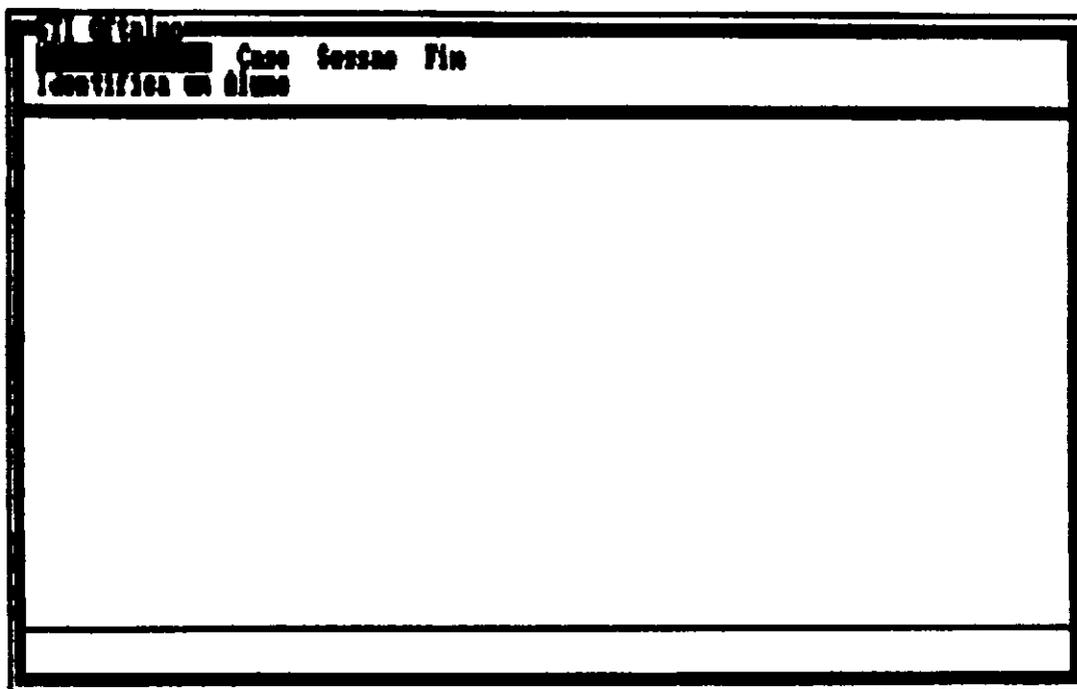


Figura 4.2 - Tela Inicial do STI Oftalmo.

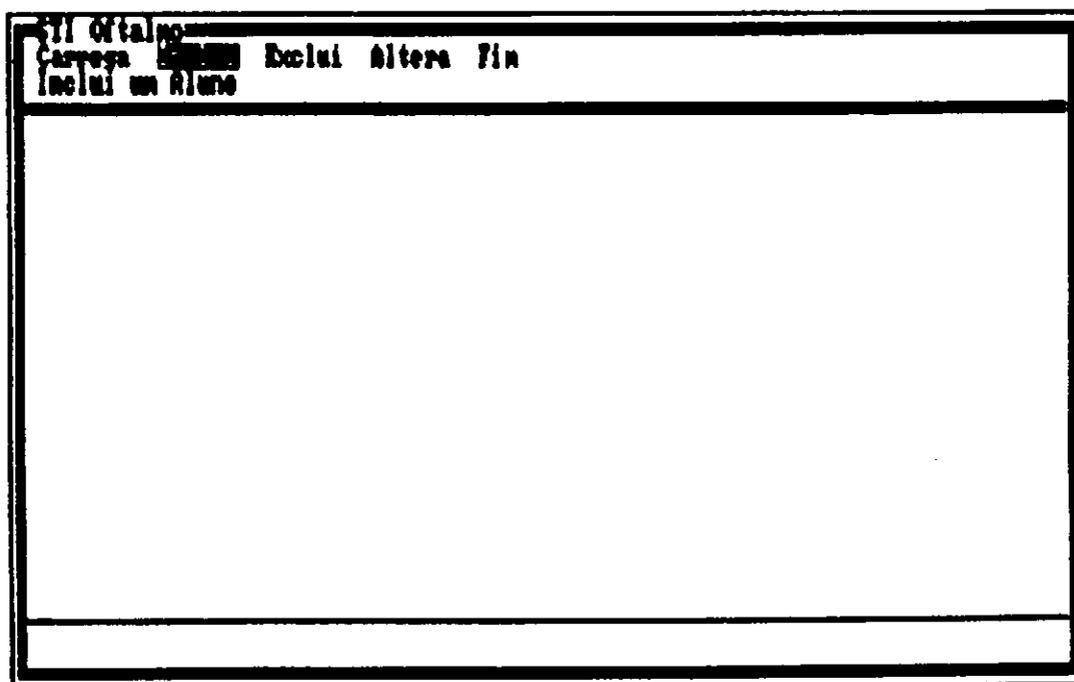


Figura 4.3 - Menu da opção identificação de um aluno.

4.2. Seleção de Caso

O STI Oftalmo treina o aluno em diagnóstico de síndromes oculares através de um diálogo pelo método de casos. Portanto, é necessária a seleção de um caso para discussão durante a sessão tutorial.

O caso selecionado pode ser entendido como um paciente que se dirige a um oftalmologista para uma consulta.

A partir de algumas informações iniciais, tais como sinais oculares e gerais apresentados pelo paciente, o oftalmologista procura traçar as possíveis hipóteses, que consistem em síndromes que podem ser determinadas pelos sinais conhecidos.

A etapa de seleção de casos consiste, então, na seleção de um caso previamente armazenado, contendo os sinais informados inicialmente (presentes e ausentes), e os sinais que foram considerados importantes pelo SE quando da análise das hipóteses consideradas na formação do diagnóstico.

No STI Oftalmo a seleção de um caso para discussão, mostrada na figura 4.6, pode ser feita das seguintes maneiras:

o Aluno informa as características do caso; e
o STI Oftalmo seleciona o caso automaticamente.

A primeira maneira permite ao aluno selecionar um caso cujas características básicas reflitam seus

interesses naquele instante. Este tipo de seleção permite que o aluno exercite o diagnóstico e tire dúvidas a respeito de uma síndrome específica, ou mesmo de alguns sinais.

O aluno informa quais são os sinais oculares e/ou gerais que gostaria que estivessem presentes no caso a ser discutido, bem como as síndromes desejadas.

Por exemplo, na Figura 4.7 o aluno informa ao sistema que deseja discutir com o STI Oftalmo, um caso que apresente determinados sinais oculares. A seguir, o STI Oftalmo apresenta os campos oculares para que o aluno selecione em quais campos estão os sinais desejados (figura 4.8).

Para cada campo ocular o aluno marca os sinais desejados utilizando a barra de espaço (figura 4.9). O mesmo processo ocorre com os sinais gerais e com as síndromes oculares (figuras 4.10 e 4.11).

Após informar todas as características desejadas para o caso, o aluno seleciona a opção "FIM", como na figura 4.12. O sistema seleciona o caso mais adequado ao aluno e a mensagem da figura 4.13 aparece na tela.

O STI Oftalmo não vai selecionar, necessariamente, um caso com todas as características solicitadas, mas sim, o caso mais próximo possível das mesmas. Isto se deve ao número finito de casos descritos no sistema. Se não for encontrado um caso com pelo menos uma característica solicitada, o sistema não seleciona nenhum caso e informa ao aluno.

A segunda maneira de selecionar um caso é a seleção automática. Neste tipo de seleção, o próprio STI Oftalmo vai selecionar o caso mais adequado ao aluno, levando em consideração o seu nível de conhecimento e os casos anteriormente discutidos.

Nos dois tipos de seleção de casos descritos acima, são dadas prioridades maiores aos casos que ainda não foram discutidos com o aluno. Se todos os casos já tiverem sido discutidos, então será escolhido um caso entre aqueles que o aluno obteve aproveitamento insatisfatório.

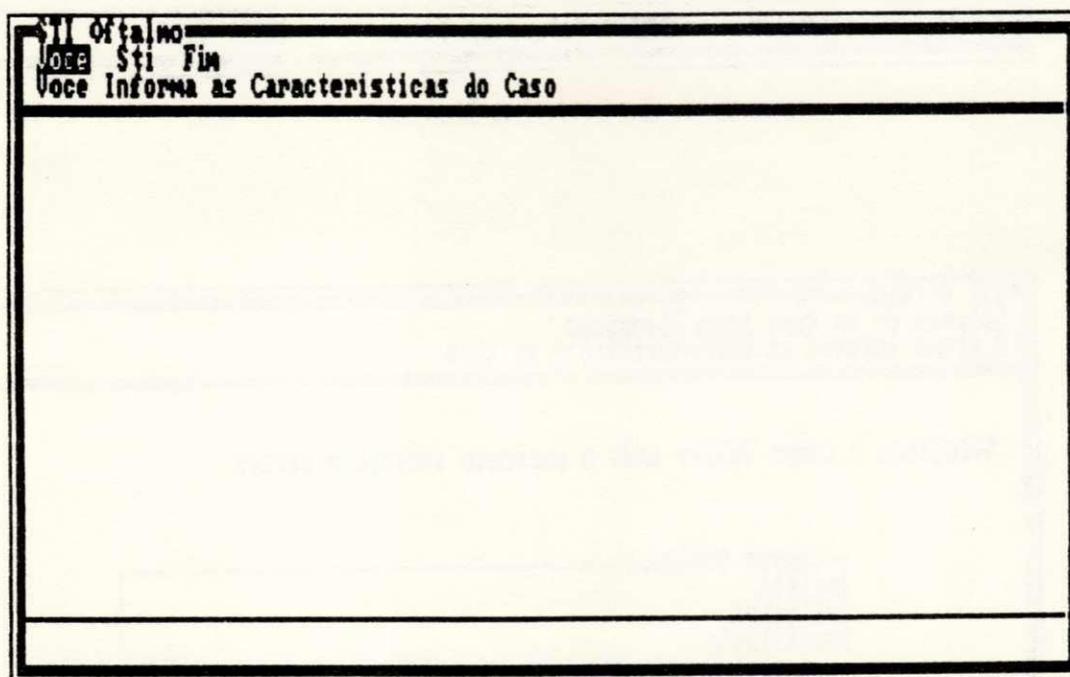


Figura 4.6 - Seleção de caso: possíveis opções.

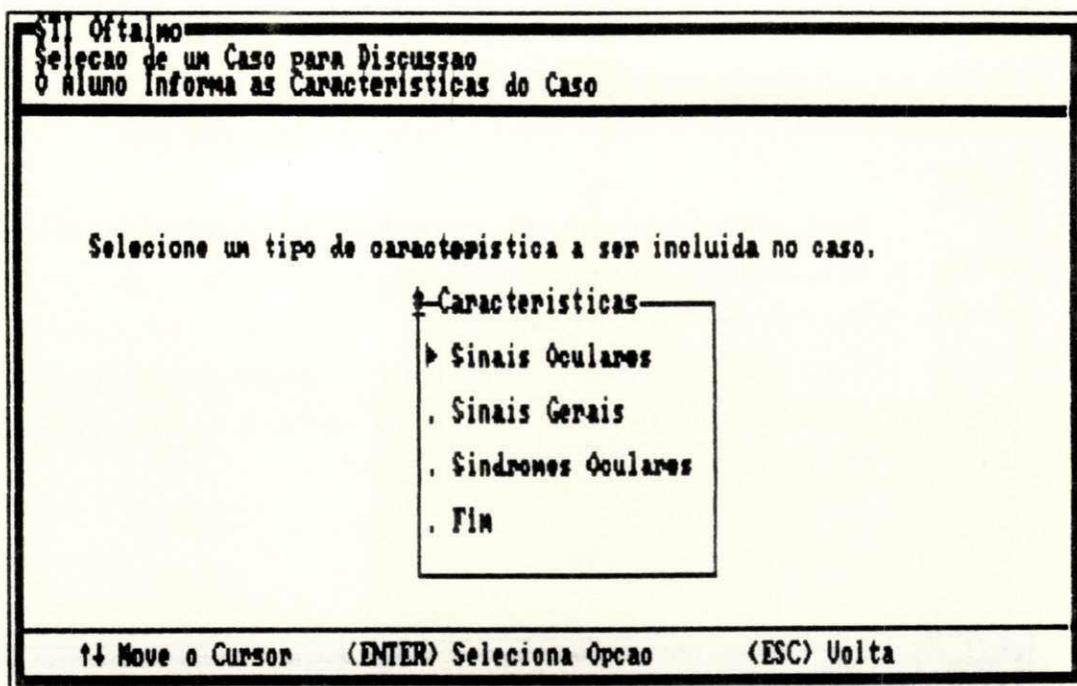


Figura 4.7 - Informaço das característias desejadas.

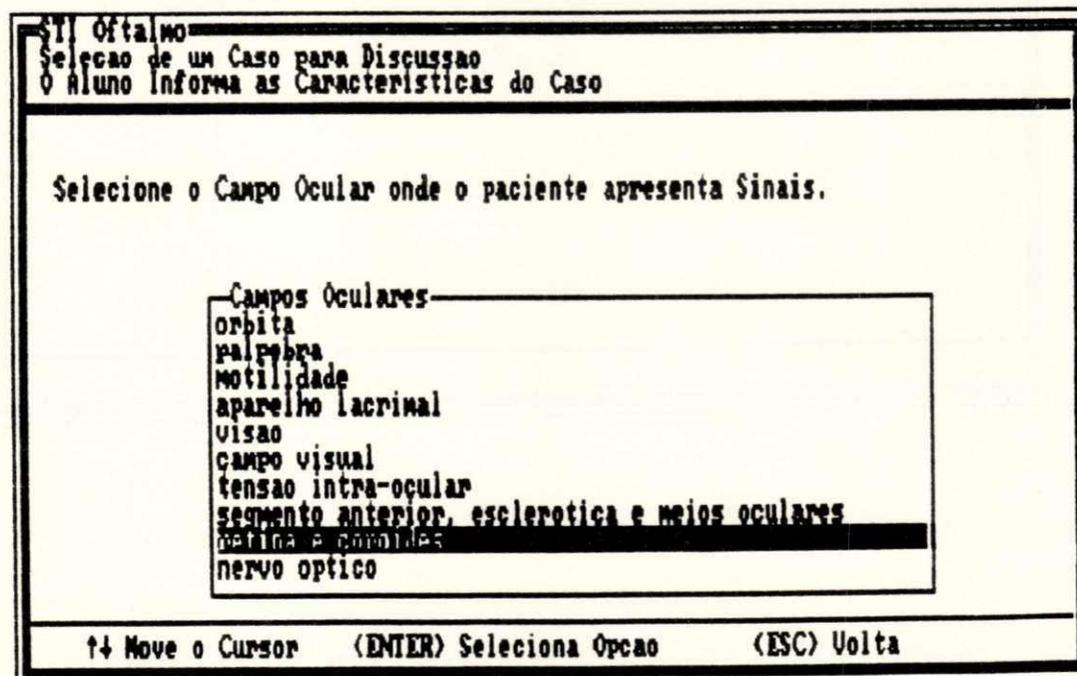


Figura 4.8 - Seleção dos campos oculares nos quais devem aparecer os sinais oculares desejados para o caso.

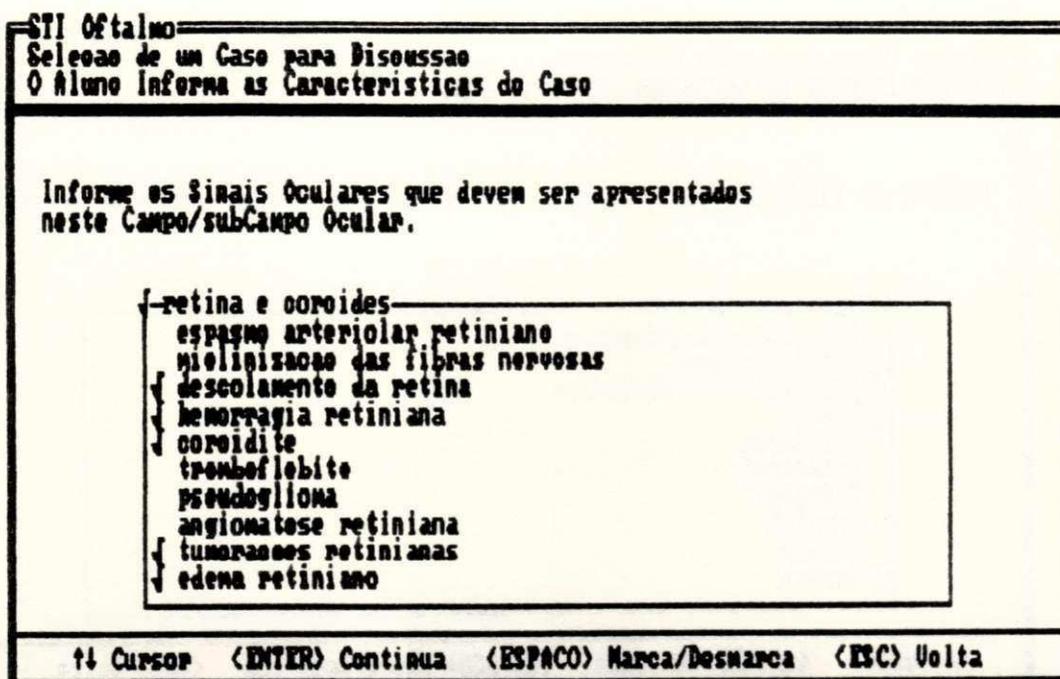


Figura 4.9 - Seleção dos sinais oculares desejados.

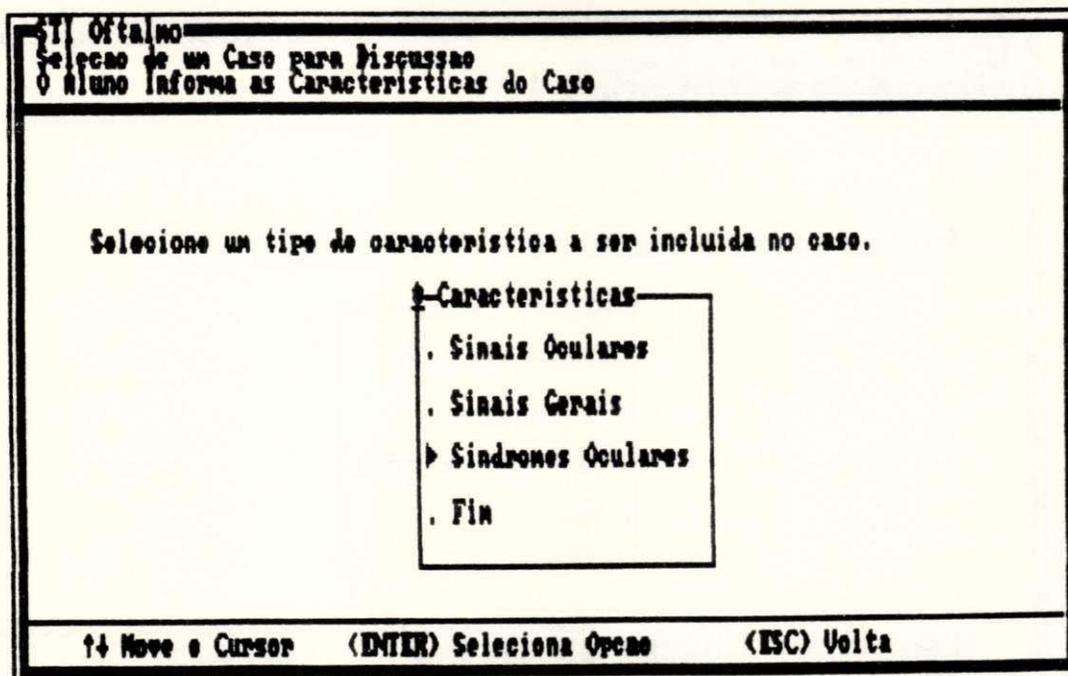


Figura 4.10 - O aluno deseja selecionar síndromes oculares.

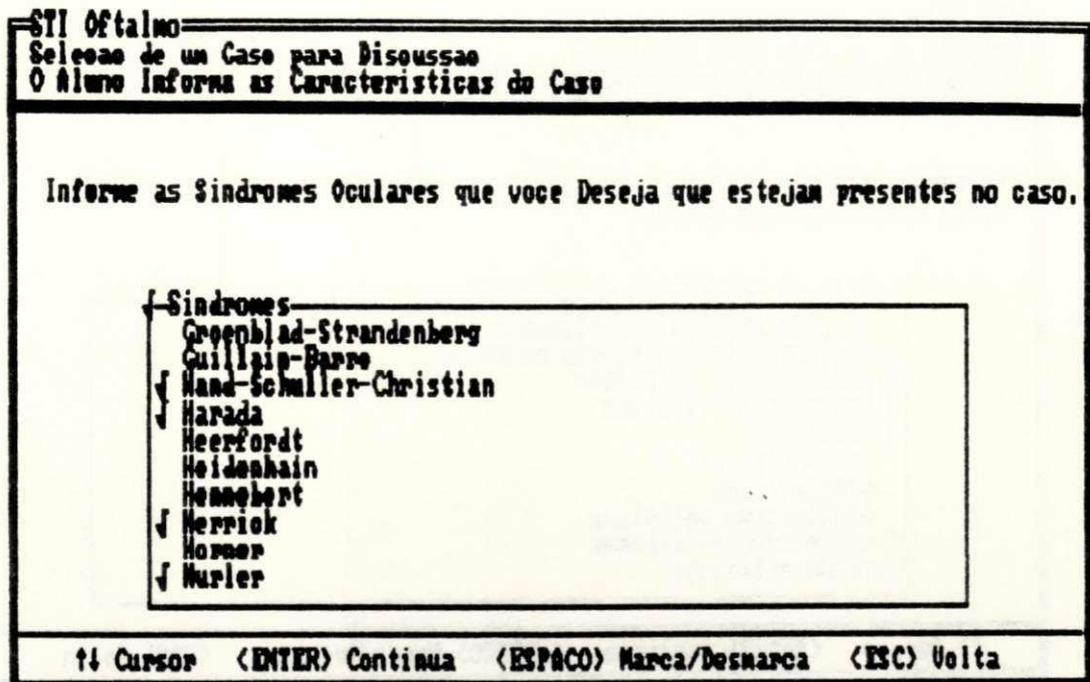


Figura 4.11 - Sindrões que o aluno gostaria de discutir.

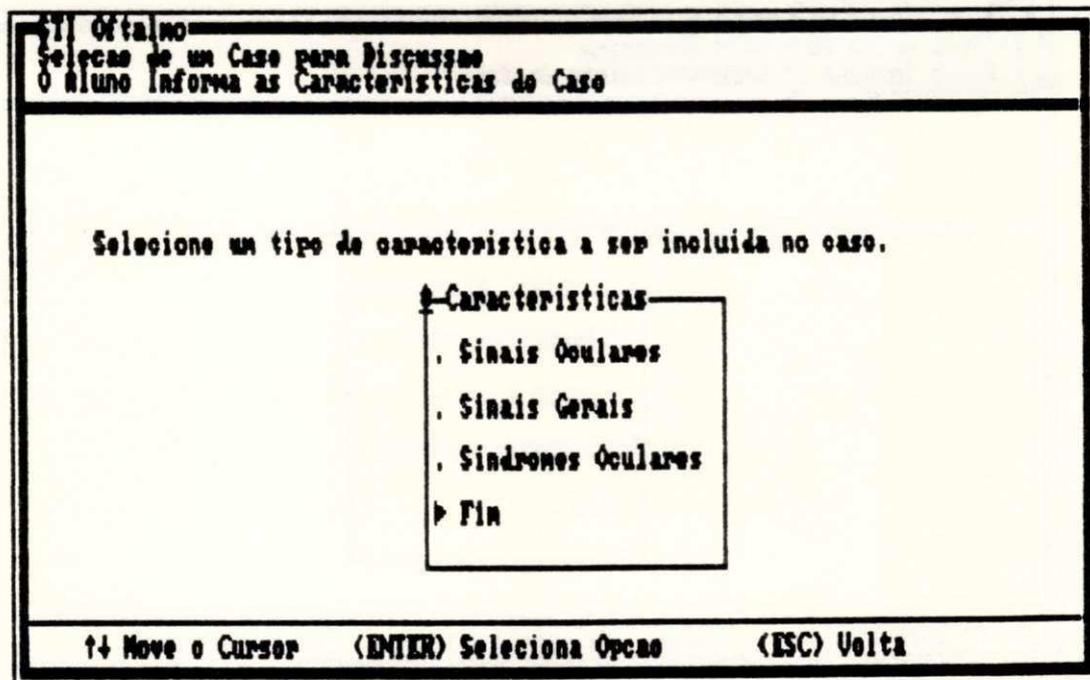


Figura 4.12 - Concluída a configuração do caso.

4.4. Sessão Tutorial

Após o caso ter sido resolvido pelo Sistema Especialista, o aluno pode dar início à sessão tutorial propriamente dita. Nesta etapa, o aluno executa o papel de um especialista em oftalmologia.

A figura 4.14 mostra quais são as operações que podem ser executadas pelo aluno nesta etapa.

O STI Oftalmo permite que o aluno, na função de um especialista, verifique quais os sinais oculares e gerais o paciente apresenta. Os sinais podem ser tanto os informados inicialmente quanto os que foram progressivamente perguntados pelo aluno ao STI Oftalmo durante a sessão (figura 4.15).

A figura 4.16 mostra os campos oculares nos quais o paciente apresenta sinais oculares conhecidos. Nem todos os campos oculares aparecem nesta tela, somente aqueles que possuem algum sinal já conhecido. O aluno seleciona um deles e o STI Oftalmo informa quais sinais estão presentes ou ausentes naquele campo ocular (figura 4.17).

O mesmo processo ocorre com os sinais gerais e os sistemas orgânicos (figuras 4.18 e 4.19).

Para se informar sobre um sinal (ocular ou geral), o aluno pode fazer perguntas do tipo:

O paciente apresenta o sinal S?

Por exemplo, ao selecionar a opção "Perguntar Sinais Oculares", figura 4.20, o STI Oftalmo apresenta os campos oculares que podem apresentar o sinal sobre o

qual se deseja obter alguma informação (figura 4.21). O aluno deve selecionar o campo ocular e em seguida, deve selecionar o sinal dentro daquele campo ocular, como na figura 4.22. Neste exemplo, o aluno perguntou ao sistema se o paciente apresenta o sinal ocular "hemorragia retiniana".

Este tipo de pergunta é importante porque permite ao sistema ativar a modelagem do estudante, inferindo quais foram as suas intenções ao fazer tal pergunta. Conhecendo as intenções do aluno, o sistema pode conduzir um diálogo com o mesmo, indicando seus erros e acertos, como mostra a Figura 4.23.

Nesta etapa, também é possível ao aluno traçar hipóteses que podem ser dos seguintes tipos:

- . hipóteses baseadas nos sinais oculares já conhecidos;
- . hipóteses baseadas nos sinais gerais conhecidos;
- . hipóteses conclusivas ou finais.

Este tipo de opção também é muito importante, porque permite ao sistema inferir se o aluno está fazendo um bom relacionamento entre as síndromes e os sinais; quais são os sinais que o levaram a concluir uma hipótese e outras informações. As hipóteses traçadas pelo aluno são uma fonte de informações bastante rica a respeito do seu nível de conhecimento.

As hipóteses conclusivas ou finais representam o diagnóstico final do aluno, após ter levado em consideração as hipóteses baseadas nos sinais oculares e gerais. Através destas hipóteses pode-se determinar o

aproveitamento do aluno no caso atualmente em discussão.

É possível, também, verificar as síndromes sobre as quais o aluno já traçou uma hipótese.

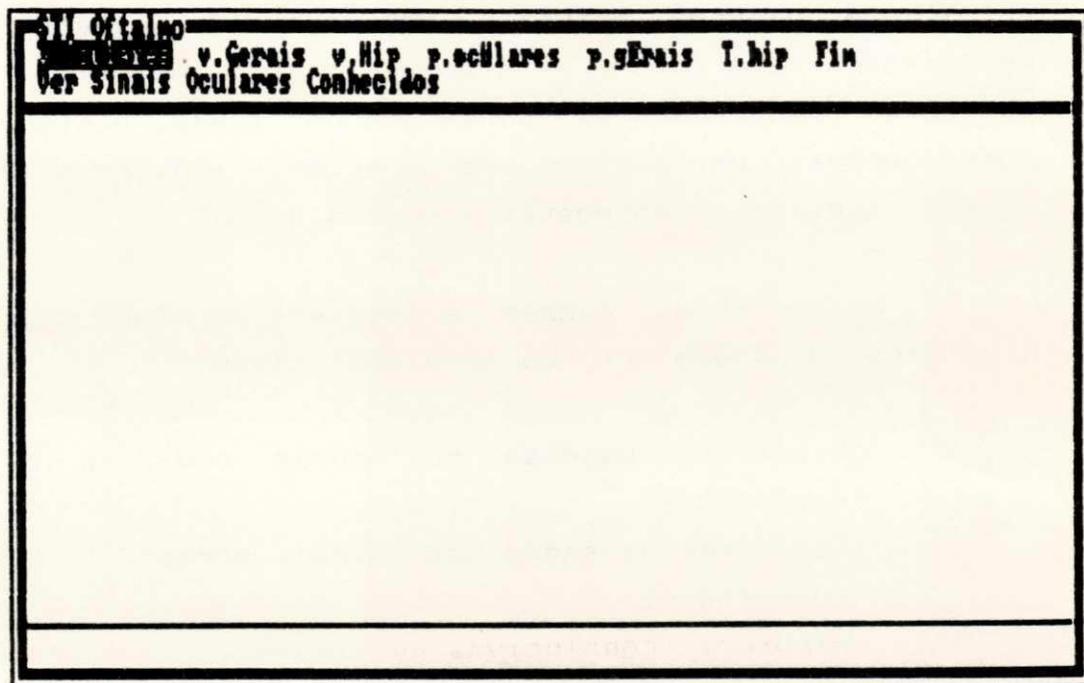


Figura 4.14 - Início da Sessão Tutorial.

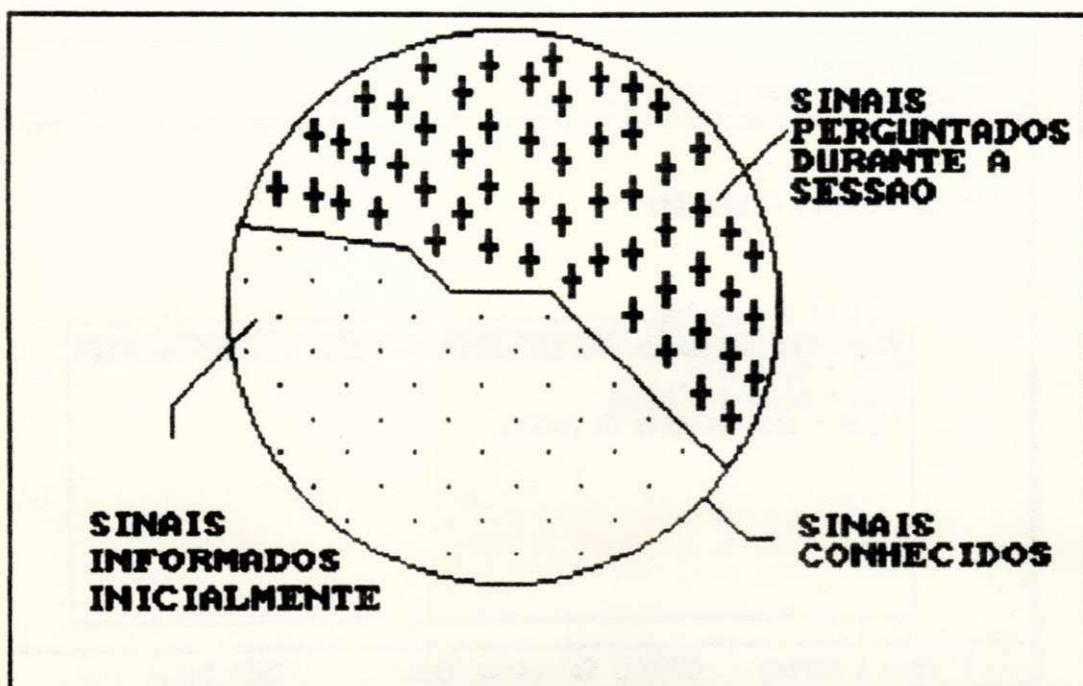


Figura 4.15 - Sinais conhecidos pelo aluno.

STI Oftalmológico
 Sessão Tutorial
 Ver Sinais Oculares Conhecidos

Selecione o Campo Ocular Desejado.

Campo Ocular
 visão
 segmento anterior, esclerótica e meios oculares

↑↓ Move o Cursor <ENTER> Seleciona Opção <ESC> Volta

Figura 4.16 - Campos oculares com sinal conhecido.

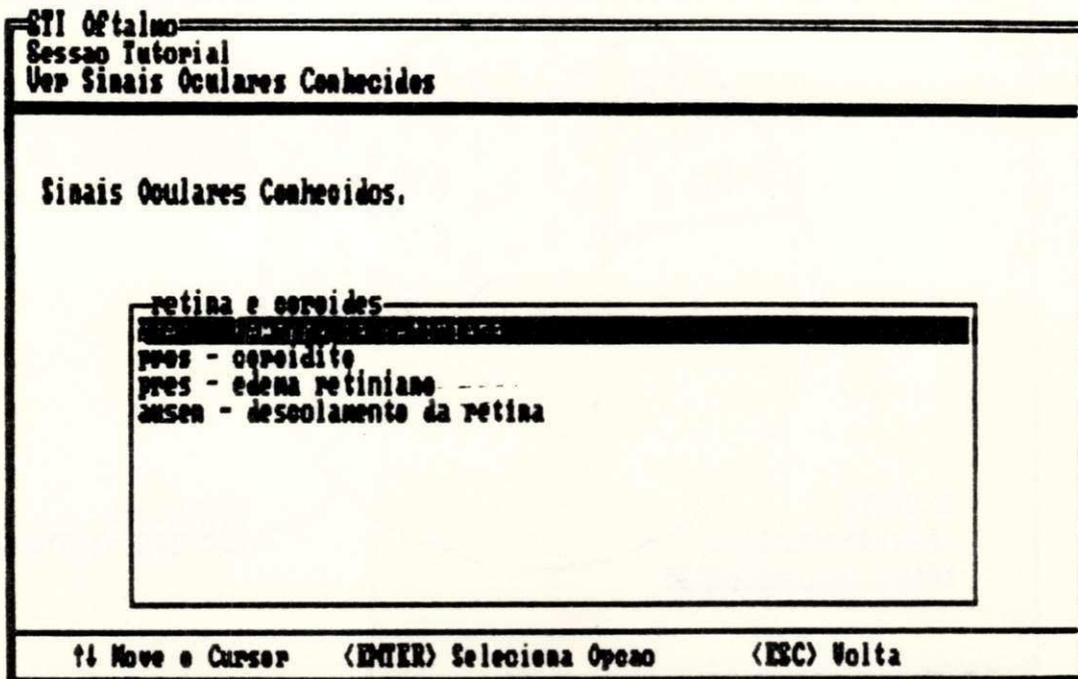


Figura 4.17 - Sinais presentes e ausentes no campo ocular "Retina e Coróides".

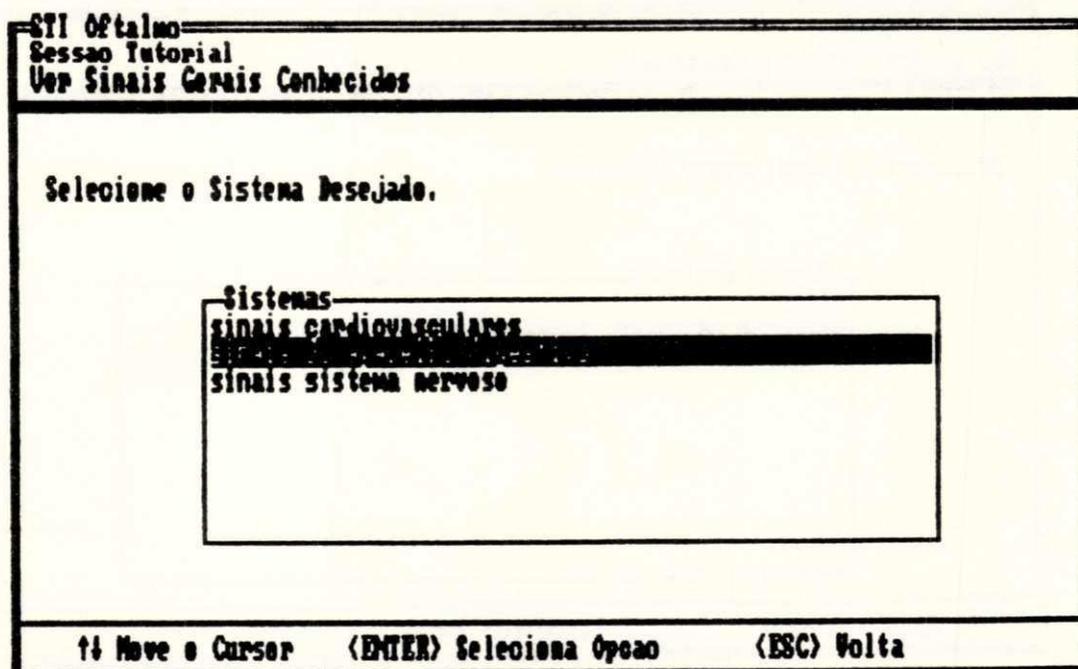


Figura 4.18 - Sistemas orgânicos que possuem sinais conhecidos.

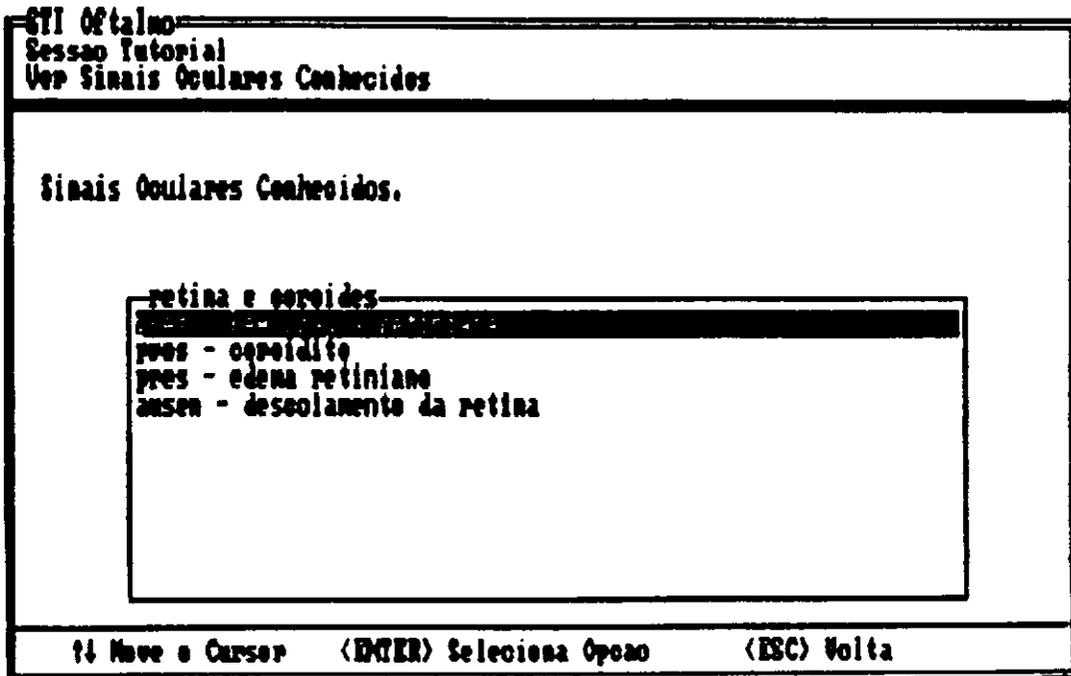


Figura 4.17 - Sinais presentes e ausentes no campo ocular "Retina e Coróides".

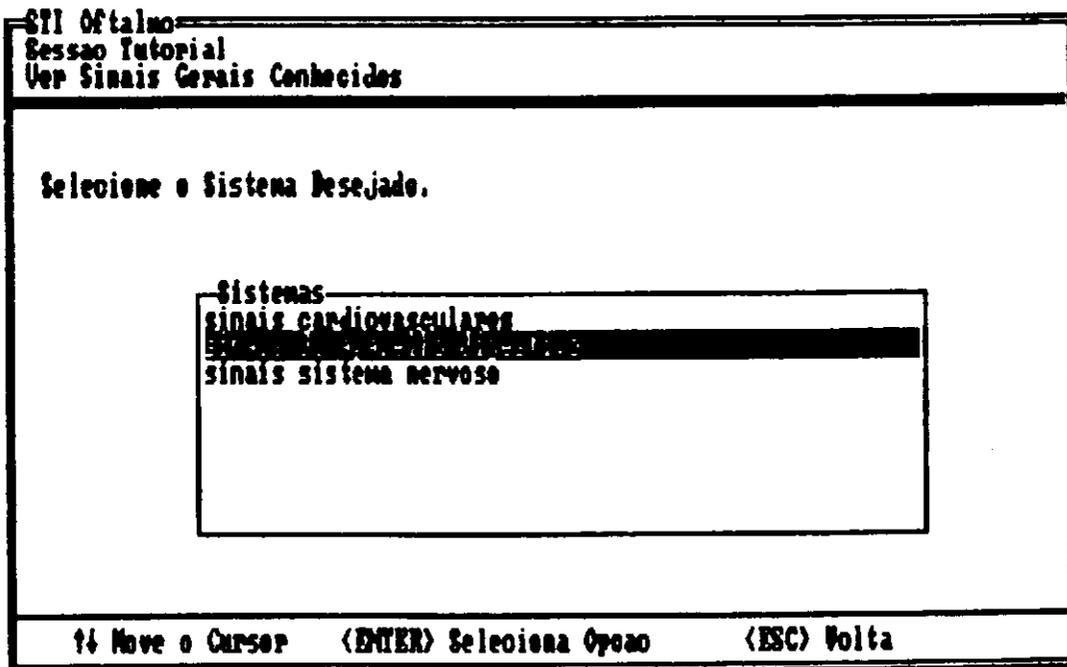


Figura 4.18 - Sistemas orgânicos que possuem sinais conhecidos.

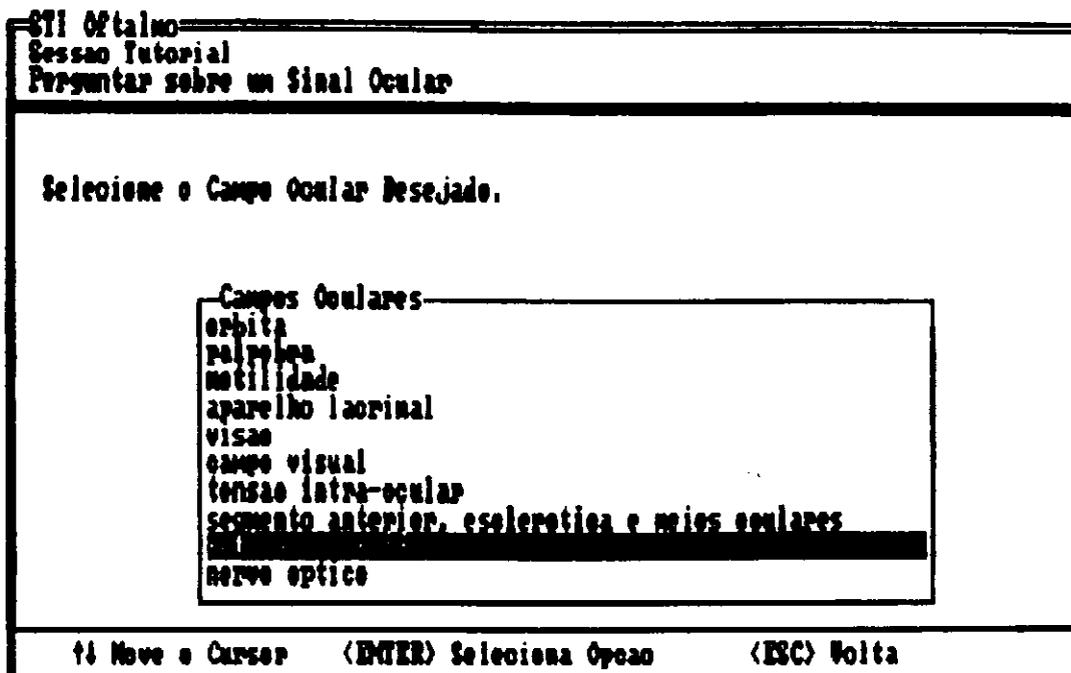


Figura 4.21 - Seleção dos possíveis campos oculares.

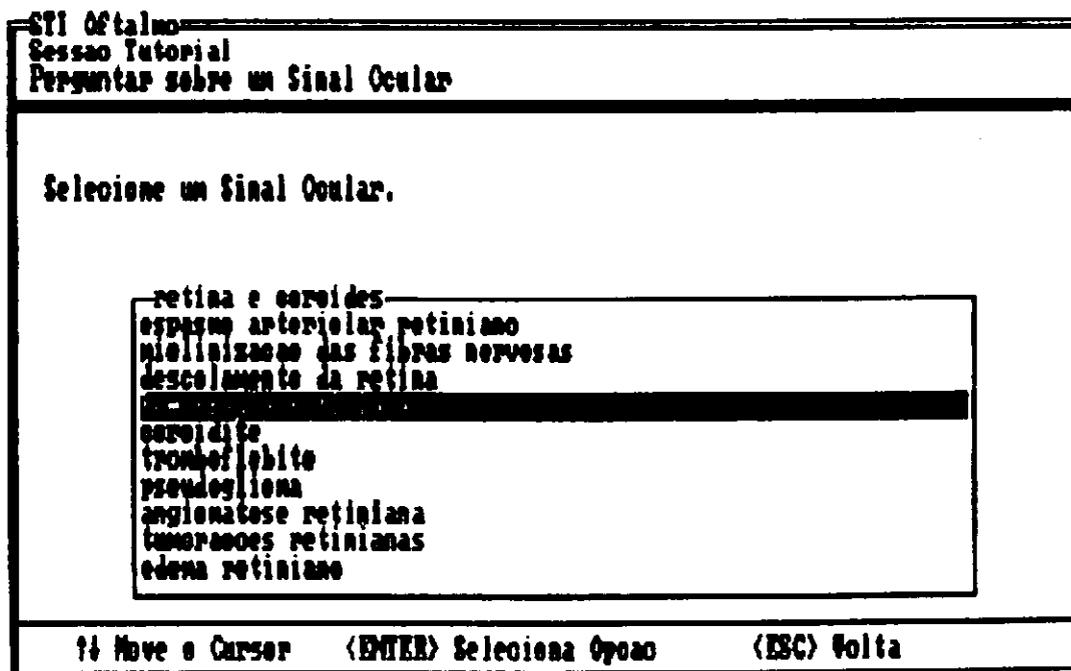


Figura 4.22 - Pergunta feita: "O paciente apresenta hemorragia retiniana?".

STI Oftalmo
Sessão Tutorial
Perguntar sobre um Sinal Ocular

O paciente apresenta o sinal ocular

hemorragia retiniana

E voce ja' tinha conhecimento disso.

Este sinal e' importante na determinacao de sindromes como:

**Maldenstrom
Von Hippel-Lindau
Symonds
Liber
Kovvink**

Ao Terminar a Leitura - tecle <enter>

Figura 4.23 - Avaliação e resposta da pergunta feita.

CAPITULO V

5. STI Oftalmo: O Modelo do Estudante

O Modelo do Estudante no STI Oftalmo permite a verificação da qualidade das inferências, realizadas pelo aluno sobre os sinais e síndromes existentes na base de conhecimento, em relação às inferências realizadas pelo Sistema Especialista, dadas as mesmas informações. Dessa forma, o Modelo do Estudante fornece subsídios para que o Módulo de Estratégias de Ensino possa executar as ações adequadas.

Na verdade no STI Oftalmo não existe uma separação de fato entre os módulos de estratégia de ensino e modelo do estudante. Existem procedimentos do Módulo de Estratégias de Ensino que são invocados pelo Modelo do Estudante e vice-versa, o mesmo ocorrendo com o módulo que faz a interface com o Aluno.

O Modelo do Estudante, no STI Oftalmo, realiza uma função intermediária entre a Interface com o Aluno, o Sistema Especialista, e o Módulo de Estratégias de Ensino como pode ser visto na Figura 4.1.

No momento em que o aluno executa uma ação, por exemplo, perguntar se o paciente possui um determinado sinal ou traçar uma hipótese, o Modelo do Estudante a

intercepta e submete à análise do Sistema Especialista. O SE verifica se tal ação foi considerada ou não durante a solução do caso. Em todos os casos o Modelo do Estudante procura inferir o que o aluno está pensando ao executar a ação.

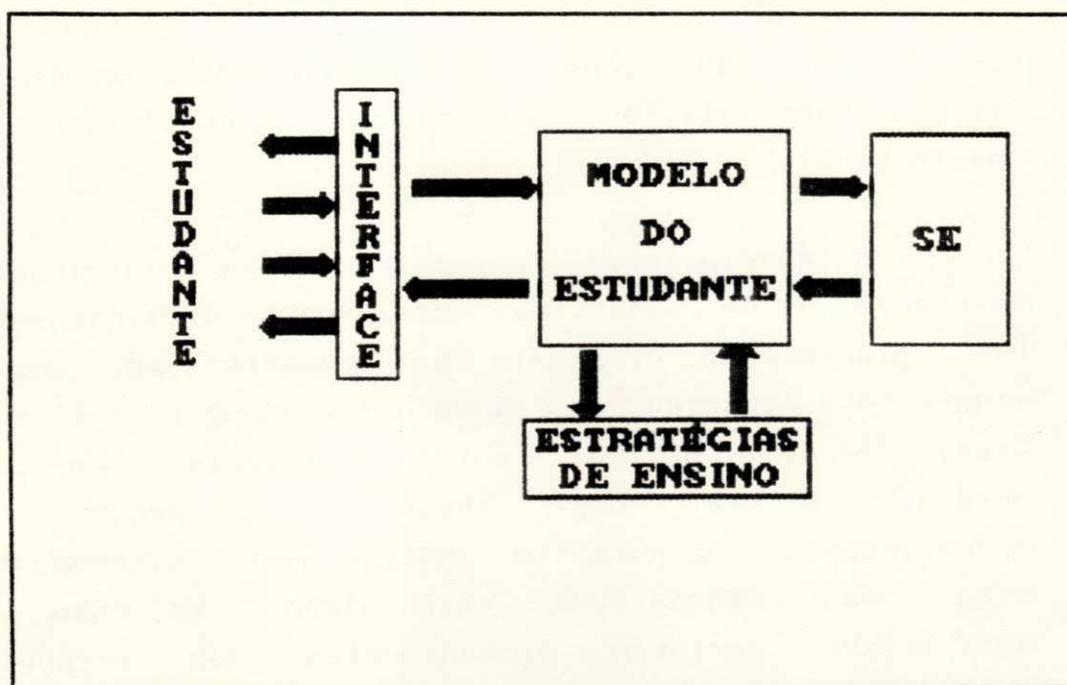


Figura 5.1 - Comunicação entre os módulos do STI Oftalmo.

A modificação feita no Modelo do Estudante em decorrência de uma ação do aluno torna verdadeira uma ou várias das condições previstas pelo módulo de Estratégias de Ensino o qual se encarrega de executar uma ou várias ações pedagógicas adequadas às necessidades instrucionais do aluno.

O modelo do estudante no STI Oftalmo, é dividido em dois conjuntos de informação: Modelo Geral e Modelo Específico.

5.1. O Modelo Geral

Quando o aluno executa uma ação o Modelo do Estudante procura inferir o que o aluno poderia estar pensando ao executá-la. Para tanto, é necessária a geração de um modelo que represente todas as possíveis considerações do aluno, baseado no conhecimento do Sistema Especialista. Este modelo é conhecido como Modelo Geral.

O modelo geral contém todas as ramificações possíveis de um sinal, ou seja, todas as síndromes a ele relacionadas. O Modelo do Estudante supõe que o aluno está pensando em alguma delas ao se referir a um sinal específico. Entretanto, isto nem sempre é verdade, o que torna necessário a execução de procedimentos que permitam inferir qual a síndrome que está sendo considerada pelo aluno. Em caso de ambigüidade existem procedimentos que perguntam explicitamente qual a síndrome que está sendo considerada.

Em termos de implementação, o modelo geral consiste de um conjunto de predicados, que serão descritos a seguir, possuindo nomes diferentes para expressar o modelo geral baseado nos sinais oculares e nos sinais gerais. Poderia ter sido utilizado um mesmo "functor" para os predicados que compõem o modelo geral, desde que fosse acrescentado um argumento indicando se pertence ao modelo geral baseado nos sinais oculares, ou ao modelo geral baseado nos sinais gerais.

Esta solução se mostrou ineficiente, quanto ao tempo de acesso, devido à necessidade de incluir um teste em vários procedimentos que coletam todas as síndromes presentes no modelo geral, para verificar se

cada uma delas pertence ao modelo geral baseado nos sinais oculares ou gerais, de acordo com o contexto da discussão com o aluno.

A solução de separá-los em dois predicados diferentes comprometeu a pureza do sistema implementado, no que diz respeito à formalização lógica do conhecimento, porém permitiu a obtenção de um melhor tempo de respostas durante as inferências.

A estrutura de dados utilizada para representar o modelo geral baseado em sinais oculares é a seguinte:

```
[ poss_hipoc(CodSind, Concluida, GC, NSS, LstSinais) ]
```

onde:

poss_hipoc: "Possíveis Hipóteses Baseadas nos Sinais Oculares" representa o modelo geral baseado nos sinais oculares;

CodSind: código da síndrome pertencente ao modelo geral;

Concluida: indica se o aluno já traçou alguma conclusão ou não sobre aquela síndrome, e se ele possuía ou não informações suficientes ao fazê-lo;

GC: reflete o percentual de sinais relacionados àquela síndrome que já foram perguntados ao sistema pelo aluno;

NSS: indica quantos sinais definem a síndrome; e

LstSinais: lista de todos os sinais relacionados àquela síndrome que foram perguntados pelo aluno.

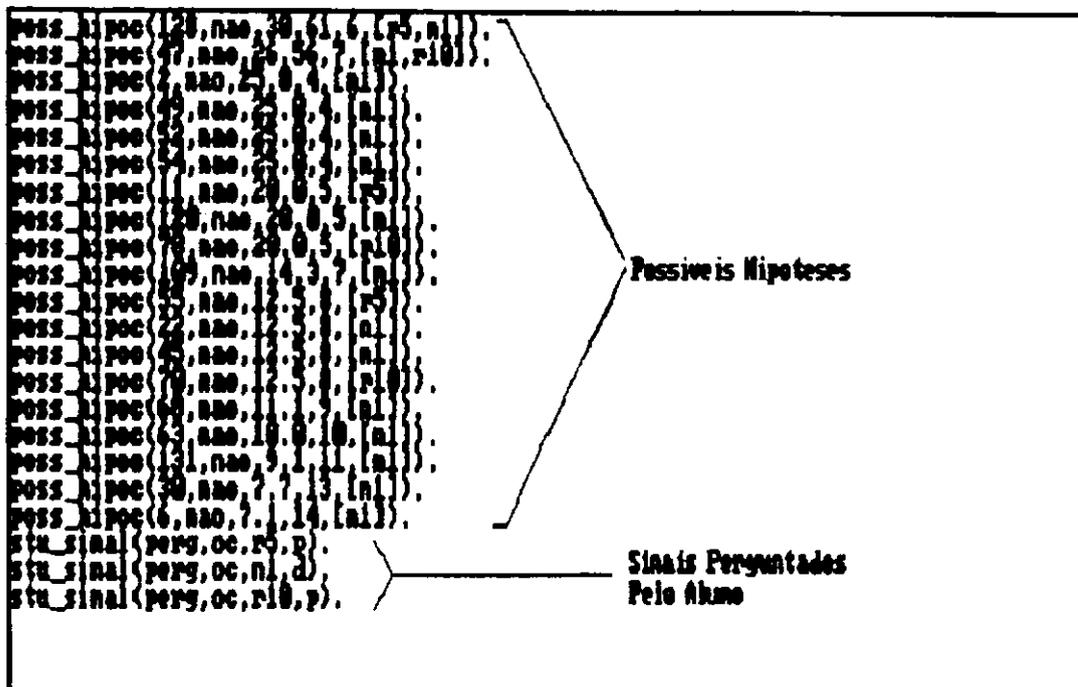


Figura 5.2 - Exemplo de Modelo Geral.

Apesar do modelo geral estar sempre classificado pelo argumento GC, isto não significa que o aluno está considerando, em um dado instante, a primeira ou outra síndrome qualquer do modelo. Para solucionar tal problema, foi criado um predicado que indica qual síndrome ele está considerando no momento.

A Figura 5.2 mostra um exemplo de modelo geral durante uma sessão tutorial.

5.2. O Modelo Específico

Assim como o modelo geral é necessário para relacionar quais síndromes o aluno pode estar

considerando, o modelo específico é necessário para indicar quais síndromes estão realmente sendo consideradas.

A finalidade principal do modelo específico é solucionar problemas de ambigüidade que ocorrem no modelo geral. Em outras palavras, quando o sistema se torna incapaz de inferir por si só o que o aluno está pensando, é necessário perguntar explicitamente ao aluno, e armazenar estas informações no modelo específico. As perguntas podem ser do tipo múltipla escolha, colocação de prioridades, exclusão, etc. Ao fazer uma pergunta ao aluno o sistema pode apresentar, aleatoriamente, opções corretas e outras que nada têm a ver com o caso, para verificar a segurança do aluno quanto às suas conclusões.

Idealmente, deveriam ser feitas também perguntas subjetivas, do tipo "em que síndrome você está pensando?". Por restrições no ambiente de implementação, não foi possível elaborar um analisador sintático capaz de entender frases incompletas e respostas dissertativas.

Na verdade, uma parte do modelo específico é "sobreposta" ao modelo geral, de modo que o Modelo do Estudante tenha condições de saber o que o aluno considerou erroneamente, o que ele esqueceu e o que ele considerou corretamente (figura 5.3).

Normalmente, o modelo específico é atualizado quando o aluno responde a uma pergunta formulada pelo sistema. Por exemplo, existe um predicado com a seguinte estrutura:

```
aluno_acertou(UcGe,CodSinal,LstSind)
```

onde:

OcGe: pode assumir o valor "oc" ou "ge" dependendo se o sinal considerado é um sinal ocular ou geral;

CodSinal: código do sinal geral ou ocular sendo considerado; e

LstSind: lista de síndromes que o aluno acertou quando considerava este sinal.

Sempre que o aluno perguntar por um sinal ocular ou geral e o Modelo do Estudante não for capaz de inferir qual ou quais síndromes ele está considerando, o sistema vai formular uma pergunta. As respostas serão avaliadas, e o sistema armazenará na estrutura de dados acima quais as síndromes o aluno considerou corretamente ao perguntar se o paciente possuía o sinal ocular ou geral, que possui este código.

O Modelo do Estudante mantém no modelo específico informações sobre quais síndromes foram esquecidas pelo aluno e quais as consideradas erroneamente. Ou seja, quais as síndromes que estavam relacionadas àquele sinal mas não foram mencionadas pelo aluno e quais foram mencionadas por ele e, no entanto, não estão relacionadas ao sinal.

O modelo específico também mantém um conjunto de predicados que representam o que o aluno deve estar pensando com relação a um sinal ocular ou geral em

determinado instante. Cada vez que o aluno responde a uma pergunta do sistema, esta estrutura é modificada de modo que as síndromes que não estão sendo mais consideradas sejam guardadas em uma lista de hipóteses anteriores; as síndromes que vinham sendo consideradas e continuam na nova discussão, permaneçam na estrutura atual; e finalmente, síndromes que não estavam sendo consideradas sejam adicionadas à mesma.

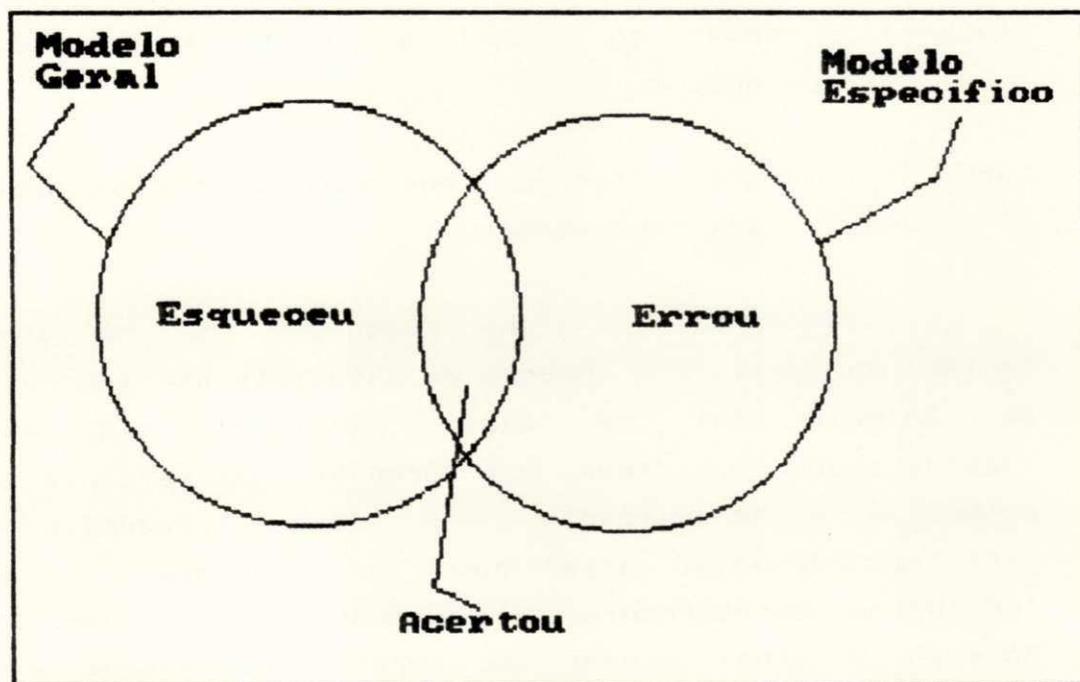


Figura 5.3 - Interseção dos Modelos Geral e Específico.

5.3. As Condições do Modelo do Estudante

O Modelo do Estudante procura determinar em que condições se enquadram as ações do aluno, de modo que o Módulo de Estratégias de Ensino possa selecionar corretamente os procedimentos que realizam efetivamente a instrução.

O número de condições que podem ser levantadas está relacionado com o número de relações presentes na base de dados do sistema, ou seja, quanto mais relações existirem na base de dados, maior o número de condições que poderão ser determinadas pelo Modelo do Estudante. Por exemplo, se existissem informações a respeito da exclusividade entre sinais oculares no STI Oftalmo, quando o aluno perguntasse por um sinal que excluísse um outro sinal qualquer já perguntado anteriormente, o Modelo do Estudante poderia determinar o seu desconhecimento a respeito dessa relação.

O Modelo do Estudante no STI Oftalmo é capaz de determinar as seguintes condições:

a) O aluno pergunta por um sinal conhecido;

O STI Oftalmo informa que o sinal já é conhecido, ou porque foi informado inicialmente ou porque foi perguntado anteriormente. Para tanto, é necessário apenas verificar nas estruturas de dados se o sinal está presente.

b) O aluno, inicialmente, pergunta por um sinal irrelevante para todas as síndromes presentes no caso;

O Modelo do Estudante verifica que o sinal perguntado não é relevante para a determinação de nenhuma síndrome presente no caso em discussão, ou seja, o quadro apresentado pelo paciente não sugere a existência deste sinal. O sistema gera uma lista com as principais síndromes presentes no caso, e informa o problema ao Módulo de Estratégias de Ensino, que as apresenta ao aluno e sugere que tente pesquisar uma delas.

- c) O aluno, inicialmente, pergunta por um sinal importante na determinação de uma ou várias síndromes presentes no caso;

Neste caso, o Modelo do Estudante gera o modelo geral e ativa procedimentos que resolvem as ambigüidades nele existentes. Estes procedimentos incluem a geração de perguntas contendo síndromes que o aluno deverá classificar de acordo com a importância que o sinal tem na determinação das mesmas. Nem todas são realmente relacionadas com o sinal. O Módulo de Estratégias de Ensino é informado da situação, consulta o modelo específico e executa as explicações necessárias.

- d) O aluno pergunta por um sinal importante para a síndrome atualmente em discussão, porém, esta não foi considerada pelo Sistema Especialista;

Isto pode ocorrer porque o STI Oftalmo deixa o aluno seguir seu próprio raciocínio, mesmo estando errado, até certo ponto. Durante este período o sistema informa ao aluno o que ele deseja saber sobre a síndrome. Se o aluno se aprofundar muito na pesquisa de uma síndrome errada, o Módulo de Estratégias de Ensino o interrompe e informa que apesar daquela síndrome realmente poder ser determinada pelos sinais perguntados, ela não foi considerada pelo Sistema Especialista a partir dos dados informados no caso em estudo. Esta é uma grande vantagem do sistema, visto que o aluno tem a oportunidade de errar e, perceber o seu erro sozinho. Quando isto não acontece, o sistema o ajuda.

- e) O aluno pergunta por um sinal importante para a síndrome atualmente em discussão a qual foi considerada pelo Sistema Especialista;

Neste caso, o STI Oftalmo simplesmente informa ao aluno que o caminho está correto. Entretanto, outras síndromes importantes podem não estar sendo consideradas. Numa situação como esta, o sistema pode apresentar tais síndromes, alertando o aluno para a sua importância.

- f) O aluno pergunta por um sinal que não é importante nem para a síndrome que está sendo discutida no momento (a qual não foi considerada pelo Sistema Especialista), nem para o caso;

Neste caso, o aluno vinha discutindo uma síndrome que o Sistema Especialista não havia considerado quando resolveu o caso. Portanto, ele discutia uma síndrome errada. O sinal que o aluno perguntou não possuía nenhuma relação com a síndrome em discussão. No entanto, o sinal perguntado pode auxiliar na determinação de uma outra síndrome qualquer, que também não foi considerada pelo Sistema Especialista.

O Modelo do Estudante entende que o aluno deixou de discutir a primeira síndrome para começar (ou continuar) a discussão da segunda, ou seja, o aluno deixou de considerar uma síndrome errada para considerar outra síndrome também errada.

O Módulo de Estratégias de Ensino informa ao aluno que o sinal não está relacionado com a síndrome que vinha sendo discutida e que a nova síndrome não foi considerada pelo Sistema Especialista.

g) O aluno pergunta por um sinal que não é importante para a síndrome que está sendo discutida no momento (a qual não foi considerada pelo Sistema Especialista); porém, é importante para o caso;

O Modelo do Estudante entende que o aluno deixou de considerar uma síndrome errada e passou a considerar uma síndrome correta.

O Módulo de Estratégias de Ensino elabora uma pergunta contendo algumas síndromes que o aluno considerou anteriormente e estão relacionadas com este sinal. Adicionalmente, o aluno é informado de que o sinal não está relacionado com a síndrome errada atualmente em discussão.

h) O aluno pergunta por um sinal que não é importante para a síndrome atualmente em discussão (a qual foi considerada pelo Sistema Especialista), porém, é importante para o caso;

O Modelo do Estudante entende que o aluno deixou de considerar uma síndrome correta e passou a considerar outra síndrome também correta.

O Módulo de Estratégias de Ensino gera uma pergunta onde o aluno deve classificar as síndromes que ele acha que estão relacionadas ao sinal. Além disso, também avalia qual das duas síndromes está mais próxima de ser concluída e informa ao aluno.

i) O aluno traça uma hipótese que o Sistema Especialista não considerou;

O Módulo de Estratégias de Ensino gera uma pergunta contendo os sinais que o aluno já conhece, e pede que ele marque aqueles que o levaram a traçar tal hipótese. Assim é possível avaliar as mal-conceituações do aluno.

j) O aluno traça uma hipótese que o Sistema Especialista considerou;

Neste caso, o Modelo do Estudante verifica se o aluno possui informações que lhe permitam traçar tal hipótese. O Módulo de Estratégias de Ensino também gera uma pergunta para que o aluno informe os sinais que o levaram a tal hipótese e avalia a sua resposta.

O modelo geral é atualizado com informações que indicam que o aluno já traçou uma hipótese sobre aquela síndrome, se possuía ou não informações suficientes, e quais os sinais que o levaram a tal conclusão.

Após a etapa de modelagem do estudante, o STI Oftalmo inicia a etapa de aplicação das estratégias de ensino, as quais estão armazenadas no Módulo de Estratégias de Ensino.

CAPITULO VI

6. O Módulo de Estratégias de Ensino

Este módulo exerce algumas funções de um professor na condução de um estudo de caso em classe. De acordo com as necessidades instrucionais do aluno, o professor aplica técnicas distintas de ensino, tais como, fazer perguntas para verificar o conhecimento do aluno sobre determinado assunto, fazer comentários para redirecioná-lo para a solução correta, dar ao aluno o retorno necessário quando este executa um passo correto ou não, etc.

O Módulo de Estratégias de Ensino do STI Oftalmo faz uso das condições que o Modelo do Estudante determina, para selecionar qual a melhor estratégia a ser aplicada no contexto do diálogo.

Dessa forma, o Módulo de Estratégias de Ensino executa uma ou várias ações para cada condição do Modelo do Estudante, permitindo que o aluno perceba o seu erro ou acerto.

Basicamente, três conjuntos de regras compõem o Módulo de Estratégias de Ensino no STI Oftalmo:

6.1. Conjunto de Preparação

Consiste em um conjunto de regras Prolog que determinam o ponto de entrada no Módulo de Estratégias de Ensino. Executam o desmembramento de predicados provenientes do Modelo do Estudante e procedimentos de preparação para o conjunto de regras descrito a seguir.

Os predicados provenientes do Modelo do Estudante contém informações sobre a ação que está sendo executada pelo aluno e a sua devida avaliação.

Os procedimentos de preparação incluem tarefas como o controle de contadores, a verificação de condições específicas, tais como o fato de o aluno perguntar, inicialmente, por um sinal completamente irrelevante para o caso ou verificar se o aluno acertou todas as síndromes que marcou para um determinado sinal, etc.

Adicionalmente, as regras pertencentes a esse conjunto determinam qual a estratégia de ensino que será adotada para instruir o aluno, ou seja, qual o sub-conjunto de regras do conjunto de estratégias de ensino que será utilizado.

```

me(stu_first_goal(erro(FirstGoal),0,RespCase,LstGoals)) :-
/*
LstGoals e' a Lista de Possiveis Goals (detectada pelo ME)
RespCase =.. [resp_caso, OcGe, CodSinal, InOutPrg, PosNeg]
O sinal perguntado foi o primeiro (FirstGoal), e seu valor e' desconhecido pelo SK (e pelo caso).

Esta condicao ocorre quando o aluno informa como la. meta, uma meta incorreta, porem existem respostas certas e esquecidas no seu conjunto de respostas.
*/
ctr_set(15,1),
call1(aluno_acertou(OcGe, CodSinal, LstCertas)),
length(LstCertas, Len),
Len > 0,
functor(RespCase, resp_caso, _),
exec_acao(stu_first_goal, FirstGoal, RespCase, LstGoals),
!.
% SETA O CONTADOR DE NPE PARA 0---
% LstCertas nao esta' vazia

```

Figura 6.1 - Regras do conjunto de Preparação.

6.2. Conjunto de Estratégias de Ensino

As regras pertencentes a este conjunto são divididas em sub-conjuntos, de acordo com a condição do Modelo do Estudante a que se referem. Portanto, existem sub-conjuntos de regras que tratam, por exemplo, do caso em que o aluno está considerando uma síndrome errada e pergunta por um sinal importante para a mesma.

Outra função das regras deste conjunto é a tradução de códigos em nomes inteligíveis pelo aluno, realizando a conversão dos estados internos do sistema em estados externos.

Estas regras também disparam regras do conjunto de apresentação, passando parâmetros já traduzidos para a apresentação.

Uma característica importante deste conjunto é o fato de que as regras pertencentes a um mesmo subconjunto são executadas exaustivamente, ou seja, após uma regra cujas condições foram satisfeitas ter sido executada, o Módulo de Estratégias de Ensino procura por outras que possivelmente serão executadas, até que não haja mais nenhuma regra naquele subconjunto.

```
exec_acao(import_atual, CodGoal, RespCase, 0) :-
    !,
    RespCase =.. (resp_case, OcGe, CodSinal, InfOuPerg, PosNeg),
    get_curr_goal(OcGe, CurrGoal, _),
    CurrGoal =.. (erro, CodGoal),
    get_poss_goals(OcGe, LstPossGoals),
    get_stu_hip(OcGe, LstStuHip),
    intersecao(LstPossGoals, LstStuHip, Intersec),
    length(Intersec, Len),
    ifthenelse(Len > 0,
    % then
        get_sind_names(Intersec, SindNames),
    % else
        get_sind_names(LstPossGoals, SindNames)
    ),
    melhor_sugestao(OcGe, LstPossGoals, MelhorSugestao),
    call(nome_sind(MelhorSugestao, SugName, ISN)),
    print(sugestao(SindNames, (SugName, ISN)))
    !,
    fail.
```

Figura 6.2 - Regras do conjunto Estratégias de Ensino.

6.3. Conjunto de Apresentação

As regras pertencentes a este conjunto são as mais simples do sistema. Consistem em regras que imprimem mensagens pré-formatadas no vídeo. Estas mensagens informam, por exemplo, que o aluno fez um

correlacionamento correto entre um sinal e uma síndrome, ou que ele esqueceu de considerar determinadas síndromes quando perguntou por um sinal, etc.

As regras recebem parâmetros ao serem chamadas. Estes parâmetros, que são argumentos de um predicado, são substituídos nos locais apropriados e apresentados.

```
print(ma_relacao(OG,PN,PI,(SName,IS),(GName,IGName)) :-
{scro}|(0,(7,2),(21,70)),
move(0,0),
move(07,05), write($O sinal $), write(OG), write($:$),
reverse_text(09,05,SName,IS),
move(11,05), write($que auxilia na determinacao da síndrome:$),
reverse_text(13,05,GName,IGName),
move(15,05), write(PN), write($ acima, o qual $),
move(17,05), write(PI),
move(19,05), write($ durante a resolucao do caso em discussao.$),
msg($ao terminar a Leitura$,_)
!.

print(bo_relacao(OG,PN,PI,(SName,IS),(GName,IGName)) :-
{scro}|(0,(7,2),(21,70)),
move(0,0),
move(07,05), write(PN), write($ $), write(OG), write($:$),
reverse_text(09,05,SName,IS),
move(11,05), write($que auxilia na determinacao da síndrome:$),
reverse_text(13,05,GName,IGName),
move(15,05), write($Este sinal $), write(PI),
move(17,05), write($ durante a resolucao do caso em discussao.$),
msg($ao terminar a Leitura$,_)
!.
```

Figura 6.3 - Regras do conjunto de Apresentação.

O Módulo de Estratégias de Ensino também possui regras que formulam perguntas a serem feitas ao aluno. Basicamente, três tipos de pergunta são formulados:

- . Marcar uma alternativa correta;
- . Classificar várias alternativas; e
- . Marcar várias alternativas corretas.

Estas regras utilizam estruturas de dados mais complexas, tais como árvores-b, para acessar rápida e ordenadamente as informações do aluno. Para que se possa formular perguntas com algum sentido, o Módulo de Estratégias de Ensino precisa executar regras que selecionam as alternativas com base em algumas inferências. Por exemplo, ao formular uma pergunta para um aluno contendo várias síndromes, onde ele deve informar quais delas estão relacionadas a determinado sinal, é necessário colocar como alternativas síndromes que, caso não estejam relacionadas a este, pelo menos tenham algum sinal em comum com a síndrome que o aluno está considerando no momento.

Em outras palavras, não é interessante colocar alternativas que não têm nenhuma característica em comum com a síndrome que o aluno está considerando, pois neste caso, ele pode acertar as perguntas através da eliminação das hipóteses que consistem em absurdos em relação ao contexto da discussão.

CAPITULO VII

7. Conclusões e Sugestões

O desenvolvimento de STI, com modelagem explícita do conhecimento do domínio e do conhecimento pedagógico, introduz aspectos cognitivos que contrastam com as visões comportamentalistas, características dos antigos sistemas de instrução programada. Experiências têm determinado a necessidade de serem considerados aspectos pedagógicos, cognitivos e epistemológicos antes de se partir para o desenvolvimento de sistemas genéricos tais como linguagens de autoria.

O projeto de STI não é limitado somente por problemas tecnológicos, mas também, pela própria dificuldade existente naturalmente na atividade de ensino-aprendizagem.

A abrangência dos sistemas de comunicação de conhecimento torna o campo essencialmente multidisciplinar. Pesquisas nas áreas de ciência cognitiva, epistemologia e psicologia (em particular a psicologia educacional), são áreas que contribuem e se beneficiam tanto quanto a IA no desenvolvimento desses sistemas. No entanto a cognição humana, que representa um ingrediente indispensável na realização da comunicação, está na maioria das vezes, fora das pesquisas em IA.

Alguns psicólogos incorporaram metodologias e conceitos normalmente presentes no desenvolvimento de STI em suas pesquisas e descobriram que os sistemas instrucionais são boas ferramentas para o desenvolvimento de teorias cognitivas.

Outra área de pesquisa relacionada com o desenvolvimento de STI é a lingüística, por causa da necessidade de se fazer com que esses sistemas tenham capacidade de entender e usar a linguagem natural.

Uma das maiores dificuldades encontradas no desenvolvimento do STI Oftalmo foi exatamente a inexistência de um estudo preliminar das estratégias de ensino que poderiam ser empregadas no mesmo. Outra dificuldade foi a não proximidade de um especialista em diagnóstico de síndromes oculares, com interesse na sua aplicação em ensino. Isto, por muitas vezes limitou o processo de criação, por exemplo, quando foi tentado implementar justificativas para as regras, ou relações de pré-requisitos e exclusividade entre os sinais.

7.1. O STI Oftalmo como Protótipo

Foi escolhida como plataforma para o desenvolvimento do STI Oftalmo, computadores do tipo PC-XT, com 640 Kbytes de memória RAM e disco rígido de 10 Mbytes. O software utilizado foi o Arity Prolog Versão 4.0 com a biblioteca Screen Design Toolkit para implementação do sistema de menus.

Utilizando essa configuração, o STI Oftalmo mantém 09 páginas residentes de 16.384 bytes, utiliza 540 parágrafos para a pilha Local (Local Stack), 812 parágrafos para a pilha Global (Global Stack) e 3.332 parágrafos para a pilha auxiliar (Trail Stack), sendo que cada parágrafo constitui um segmento de 16 bytes.

A idéia de utilizar o Oftalmo como sistema especialista no desenvolvimento de um STI, surgiu da necessidade de concentrar esforços nas atividades de modelagem do estudante e estratégias de ensino.

O Oftalmo possui 158 síndromes oculares, 231 sinais oculares e 450 sinais gerais cadastrados. O correto relacionamento entre as síndromes e os sinais que as definem já foi comprovado em [CHIA 86] e constitui informação suficiente para ser apresentada ao aluno.

Com o desenvolvimento dos trabalhos, descobrimos que é mais importante utilizar uma base de dados que possua um número maior de tabelas, assim como maiores informações sobre dependência entre as evidências do que uma base de dados com grande quantidade de informações distribuídas em poucas tabelas e relações.

É conveniente a criação de uma interface mais amigável que permita a realização de um diálogo em linguagem natural e a formulação de perguntas com respostas na forma de sentenças. Uma boa opção seria utilizar a linguagem C cujo compilador possui uma boa interação com o Prolog que pode executar rotinas desenvolvidas em C.

A característica mais importante do STI Oftalmo é a separação entre as estratégias de ensino, atividades de modelagem do estudante e conhecimento específico a um domínio, no caso o diagnóstico de síndromes oculares.

Com esta separação é possível desenvolver testes utilizando outras estratégias de ensino, tais como apresentar quadros contendo justificativas para as regras, fazer perguntas do tipo Verdadeiro ou Falso e traçar gráficos para melhor visualização dos processos de diagnóstico.

No desenvolvimento do STI Oftalmo foi implementada uma estratégia de ensino utilizada comumente por professores, que consiste, por exemplo, em: deixar o aluno fazer uma pergunta, indagá-lo sobre o porque da mesma; verificar se sua resposta está correta ou não, ou se somente parte dela está correta; incentivá-lo durante a resolução de um problema e dar dicas para o aluno.

7.2. Sugestões para Trabalhos Futuros

Durante o desenvolvimento do STI Oftalmo foram encontrados vários problemas sem solução imediata que, podem ser temas para futuras pesquisas. Aliás, esse foi um aspecto sempre presente nas discussões sobre os limites do sistema a ser desenvolvido.

Nesse sentido, são descritos alguns pontos importantes para o aperfeiçoamento do STI Oftalmo como um sistema de comunicação de conhecimento:

- . ampliação do número de conceitos no SE;
- . formalização do processo de diagnóstico;
- . desenvolvimento de uma interface mais amigável; e
- . informações mais detalhadas sobre o aluno.

7.2.1 - Ampliação do Número de Conceitos no SE

As relações presentes em um STI representam os conceitos que devem ser transmitidos ao aluno. Estes conceitos é que constituem o objeto da comunicação e são eles que o aluno precisa aprender. Se o número de relações for pequeno, então o aluno terá acesso a um número igualmente pequeno de conceitos, mesmo que existam grandes quantidades de informação sobre os mesmos. Não interessa a um aluno decorar quais são as síndromes que estão relacionadas a um sinal, mas sim, aprender a diagnosticar síndromes. Portanto, é importante direcionar os próximos trabalhos na ampliação dos conceitos presentes no Oftalmo.

7.2.2. Formalização do Processo de Diagnóstico

O processo de diagnóstico de síndromes oculares presente no STI Oftalmo está embutido no mecanismo de utilização do sistema. Em outras palavras, a maneira como o aluno procede na resolução de um problema, perguntando por sinais oculares, traçando hipóteses baseadas no quadro ocular do paciente, perguntando por sinais gerais, traçando hipóteses baseadas no quadro geral e traçando hipóteses conclusivas, tudo através de menus, consiste em um conjunto de informações a respeito do diagnóstico de síndromes oculares, ao qual o STI Oftalmo não tem acesso.

Um trabalho bastante interessante sobre o STI Oftalmo é o de formalizar o processo de diagnóstico nele embutido, através de regras de produção, ou seja, tornar o conhecimento sobre o processo de diagnósticos acessível ao sistema. Isto permitiria ensinar a um aluno quais os passos que ele deve seguir para chegar a um diagnóstico e, melhor ainda, quais os critérios que devem ser satisfeitos para que ele possa dar por terminado um processo de diagnóstico de síndromes oculares. Esta pesquisa seria a implementação do conceito de articulação de conhecimento [WENG 87] no STI Oftalmo.

A formalização do processo de diagnóstico no STI Oftalmo requer a expansão da sua base de dados, no que se refere ao número de relações existentes representando conceitos do domínio. Quanto maior o número de conceitos do domínio presentes, maior será a capacidade de articulação do sistema, e maior será a sua capacidade de diálogo com o aluno.

7.2.3. Interface Adequada ao Ensino

A interface com o aluno do STI Oftalmo utiliza os procedimentos definidos na biblioteca de manipulação de telas chamada "Screen Design Toolkit" do Arity Prolog V4.0. O poder dessa biblioteca reside nos vários tipos de menus disponíveis. Entretanto, podemos perceber que menus são inadequados em certas situações de ensino, principalmente porque limitam consideravelmente as ações do aluno, por exemplo, quando o aluno responde em quais síndromes está pensando ao considerar um sinal.

O processamento de linguagem natural foi avaliado durante a fase de especificação do sistema.

Entretanto, devido à sua complexidade foi descartado como tema neste trabalho.

As interfaces gráficas correspondem a uma tendência no desenvolvimento de softwares educativos muito mais forte que as interfaces em linguagem natural, principalmente levando-se em consideração a dificuldade de implementação e o efeito causado no aluno, em termos de visualização. Entretanto, as interfaces em linguagem natural são necessárias nas atividades de explanação de processos essencialmente descritivos.

Seria bastante interessante realizar estudos sobre qual seria o tipo de interface mais adequado para a utilização em ensino. Estes estudos deveriam levantar os métodos adequados à entrada e saída de informações do sistema considerando a sua área de aplicação, ou seja, considerando que um STI na área de oftalmologia possui características diferentes de um STI na área de geometria, por exemplo.

Após a realização destes estudos, uma modificação na interface do STI Oftalmo, segundo os princípios levantados, seria desejável.

7.2.4. Informações Detalhadas sobre o Aluno

É interessante levantar outras informações a serem acrescentadas ao registro do aluno de forma a permitir uma melhor seleção de casos para discussão.

A seleção não deve levar em consideração somente os casos já discutidos anteriormente com o aluno e suas solicitações, mas sim, quais os conceitos

que foram mal compreendidos por parte do mesmo, e o porquê da incompreensão.

É necessário o desenvolvimento de um programa editor de casos que facilite a criação de casos pelo especialista. Este editor pode incorporar ao registro de casos informações sobre o nível de dificuldade do mesmo ou quantas vezes um aluno pode seguir um caminho errado, ou seja, perguntar por sinais que estão relacionados a uma síndrome não considerada pelo SE.

7.3. Considerações Finais

Após o desenvolvimento do STI Oftalmo, que exigiu uma extensa pesquisa em artigos relacionados, percebemos que os pesquisadores se mostram ainda inseguros quanto à afirmação de ser, ou não, possível desenvolver STI realmente inteligentes.

Apesar de quase 20 anos terem se passado desde o advento do Scholar, não houve um progresso nas técnicas utilizadas no desenvolvimento de tais sistemas compatível com os estudos realizados. Isto vem comprovar o alto grau de complexidade das pesquisas neste campo da IA, e a necessidade de uma maior interação com pesquisadores em áreas afins, tais como a psicologia cognitiva.

A verdade é que mesmo os sistemas apoiados em teorias cognitivas desenvolvidas por psicólogos, tais como o Lisp Tutor, se mostram relativamente aquém das necessidades instrucionais de um aluno.

O desenvolvimento do STI Oftalmo foi bastante gratificante por proporcionar uma contribuição para as pesquisas em inteligência artificial e educação.

Referências Bibliográficas

- [LANDE 85] Anderson, J.R. e Reiser, B.J.; "The Lisp Tutor"; Byte, 10(4), 1985.
- [BEEK 86] van Beek, P.G.; "A Model for User-Specific Explanations from Expert Systems"; Research Report No. CS-86-42; University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 1986.
- [BROW 82] Brown, J.S.; e Van Lehn, K.; "Toward a generative theory of bugs"; In Carpenter, T.; Moser, J. (Eds.). Addition and Subtraction: A Cognitive Perspective. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey.
- [CARB 70a] Carbonell, J.R.; "Mixed-Initiative Man-Computer Instructional Dialogues". Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 1970.
- [CARB 70b] Carbonell, J.R.; "AI in CAI: an artificial intelligence approach to Computer-Assisted Instruction"; IEEE Transactions on Man-Machine Systems, vol. 11, No. 4, 1970.
- [CHIA 86] Chianca, Marta E.T. Pessoa; "Oftalmo: um Sistema Especialista para Diagnóstico de Síndromes Oculares"; dissertação de mestrado; UFPB, Campina Grande(Pb), 1986.

- ECLAN 82] Clancey, W.J.; "Tutoring Rules for Guiding a Case Method Dialog"; In Sleeman, D. & Brown J. (Eds) Intelligent Tutoring Systems; London: Academic Press, 1982.
- ECLAN 84] Clancey, W.J.; "Methodology for Building an Intelligent Tutoring System"; Methods and Tactics in Cognitive Science; New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1984.
- ECLAN 85] Clancey, W.J.; "Acquiring, Representing, and Evaluating a Competence Model of Diagnostic Strategy"; Technical Report No. CS-85-1067; Stanford University, Stanford(CA), 1985.
- ECLAN 86a] Clancey, W.J.; "Qualitative Student Models"; Technical Report No. CS-87-1171; Stanford University, Stanford(CA), 1986.
- ECLAN 86b] Clancey, W.J.; "From GUIDON to NEOMYCIN and HERACLES in Twenty Short Lessons"; Technical Report No. CS-87-1172; Stanford University, Stanford(CA), 1986.
- ECLAN 87] Clancey, W.J.; "Knowledge-Based Tutoring - The GUIDON Program"; MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1987.
- EDREY 86] Dreyfus, Hubert L. and Dreyfus, Stuart E.; "Putting Computers in Their Place"; New School for Social Research, Social Research, Vol. 53, No. 1(Spring), 1986.
- EHART 73] Hartley, J.R. e Sleeman, D.H.; Towards Intelligent Teaching Systems; International Journal of Man-Machine Studies, 15, 2.

- [JOHN 87] Johnson, W.L. and Soloway, E.; "PROUST: an Automatic Debugger for Pascal Programs". In Kearsley, G.P. (Ed). Artificial Intelligence & Instruction. Addison Wesley, 1987.
- [LOPE 87] Lopes D. Filho, Nelson e Haroldo, Tarcísio; "Uma Técnica de Modelagem do Estudante para Uso em Programas Educativos Inteligentes"; Anais 4o. Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial, p-425; 1987.
- [OLIV 88] Oliveira, Ulysses S.C.; "Um Sistema Tutorial Inteligente"; dissertação de mestrado; IME(RJ); 1988.
- [QUIL 68] Quillian, M.R.; "Semantic Memory"; In Minsky, M. (Ed.) Semantic Information Processing. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1968.
- [SHOR 84] Shortliffe, E.H. e Buchanan, B.G.; "Rule-Based Expert Systems"; Menlo Park(CA); Addison-Wesley Publishings, 1984.
- [SLEE 82] Sleeman, D. e Brown, J.S.; "Intelligent Tutoring Systems"; London: Academic Press, 1982.
- [SLEE 87] Sleeman, D.; "PIXIE: A Shell for Developing Intelligent Tutoring Systems". In Bawler, R.W. & Yazdani, M. (Eds). Artificial Intelligence and Education, vol. 1. New Jersey; Ablex Publishing, 1987.

- [UHR 69] Uhr, L.; "teaching machine programs that generate problems as a function of interaction with students"; Proceedings of the National ACM Conference, p. 125-134, Association for Computer Machinery, New York, 1967.
- [WEIS 84] Weiss, S.M. kulikowski, C.A.; "A Practical Guide to Designing Expert Systems"; Rowman & Allanheld Publishers, Totowa(NJ), 1984.
- [WENG 87] Wenger, Etienne; "Artificial Intelligence and Tutoring Systems - Computational and Cognitive Approaches to the Communication of Knowledge"; Morgan Kaufmann Publishers; Los Altos(CA), 1987.
- [YAZD 87] Yazdani, Masoud; "Inteligent Tutoring Systems: an Overview". In Bawler, R.W. & Yazdani, M (Eds). Artificial Intelligence and Education; Vol.1; New Jersey: Ablex Publishing, 1987.