

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA  
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO  
MESTRADO EM CIENCIA DA COMPUTAÇÃO

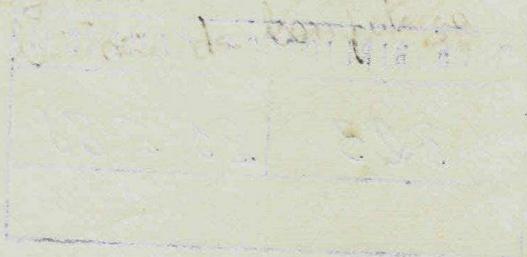
OFTALMO:

Um Sistema Especialista para Diagnóstico  
de Síndromes Oculares

Marta Eleonora Targino Pessoa Chianca

CAMPINA GRANDE

OUTUBRO - 1986



Marta Eleonora Targino Pessoa Chianca

OFTALMO :

Um Sistema Especialista para Diagnóstico  
de Síndromes Oculares

Dissertação apresentada ao curso de MESTRADO EM  
CIENCIA DA COMPUTAÇÃO da Universidade Federal da  
Paraíba, em cumprimento às exigências para  
obtenção do Grau de Mestre.

AREA DE CONCENTRAÇÃO : Inteligência Artificial

BERNARDO LULA JUNIOR

Orientador

CAMPINA GRANDE

OUTUBRO - 1986



C532s Chianca, Marta Eleonora Targino Pessoa  
Oftalmo : um sistema especialista para diagnostico de  
síndromes oculares / Marta Eleonora Targino Pessoa Chianca.  
- Campina Grande, 1986.  
78 f. : il.

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

1. Sistema Especialista Oftalmologico 2. Síndromes  
Oculares 3. Diagnostico Oftalmologico - 4. Sinais Oculares  
5. OFTALMO (Diagnostico Oftalmologico) 6. Ciencia da  
Computacao 7. Dissertacao I. Lula Junior, Bernardo II.  
Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) III.  
Título

CDU 004.891:617.7(043)

OFTALMO :  
Um Sistema Especialista para Diagnóstico  
de Síndromes Oculares

MARTA ELEONORA TARGINO PESSOA CHIANCA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 02/10/86

BERNARDO LULA JUNIOR  
Orientador

Antônio de Medeiros Batista  
Componente da banca

José Hamurabi Nóbrega de Medeiros  
Componente da banca

CAMPINA GRANDE  
OUTUBRO - 1986

## RESUMO

Este sistema reproduz o procedimento do oftalmologista na identificação de síndromes que afetam os olhos. São informados ao sistema os sinais oculares apresentados pelo paciente, a partir dos quais é feita uma pré-seleção das síndromes que incluem esses sinais, exibidas na ordem decrescente do grau de confiança que o sistema lhes atribui. Há a opção, para o médico, de perseguir qualquer das hipóteses. Nesta etapa, o sistema passa a pesquisar a existência dos sinais orgânicos gerais correspondentes à síndrome em questão. Com base neste conjunto de sintomas o diagnóstico é emitido. OFTALMO é um sistema especialista baseado em regras, emprega o esquema de controle backward chaining, fornece explicações sobre o processo de raciocínio e é implementado em Prolog.

## ABSTRACT

OFTALMO is a ruled-based expert system, implemented in Prolog, that employs backward chaining control scheme and provides explanation of its reasoning process. This system reproduces how an ophthalmologist proceeds in the identification of syndromes affecting the eyes. Ocular symptoms exhibited by the patient are informed to the system. Based on those informations, the system provides a list of syndromes characterized by them, which are presented in decrescente order, according to an attributed confidence degree. The doctor may, if he wishes, pursue the hypothesis with highest confidence degree or any other he wishes choice. In this phase, the system searches for the existence of the general organic signs which characterize the syndrome. Finally, a diagnostic is issued based on ocular and general symptoms presented by the patient.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	01
1.1	Inteligência Artificial	01
1.1.1	Desenvolvimento Histórico	01
1.1.2	Estrutura	08
1.1.2.1	Elementos Básicos	09
1.1.2.2	Aplicações	14
2	ARQUITETURA DE SISTEMAS ESPECIALISTAS	22
2.1	Estrutura e Desenvolvimento	22
2.2	Tratamento da Informação	27
2.2.1	Aquisição do Conhecimento	27
2.2.2	Representação do Conhecimento	27
2.2.3	Estratégias de Controle	32

3	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	34
3.1	Considerações Gerais	34
3.2	Metodologia	39
4	DESCRIÇÃO DO SISTEMA OFTALMO	44
4.1	Aspectos Globais	44
4.2	A Base de Conhecimento	46
4.3	A Base de Dados Global e Árvore de Menus	53
4.4	Sistema de Controle	60
5	CONCLUSÃO	70
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Inteligência Artificial

#### 1.1.1 Desenvolvimento Histórico

A tentativa de entender os mecanismos da inteligência humana e reprodução de seu comportamento foi uma preocupação sempre presente na história da ciência, demonstrada em fatos desde os mais simples, como as estátuas falantes construídas pelos antigos egípcios (200 A. C.); até os mais extravagantes como a afirmação de Paracelso, médico alemão, de ter criado, em 1500 D.C., um homúnculo capaz de imitar as funções primárias do pensamento. Em 1250, Raimundo Llul se propunha a construir uma máquina universal que demonstrasse a veracidade de uma afirmação [ENCI 83].

Na realidade, nem todas as contribuições foram tão audaciosas, mas todas foram valiosas para o entendimento da principal característica que distingue o homem dos outros seres vivos: a capacidade de pensar. No início do século XVII, Descartes concluiu que mente e corpo eram coisas distintas, dando um grande passo para a concepção da inteligência em termos dos seus mecanismos.

Pensadores como John Locke e David Hume, no início do século XVIII, a partir do surgimento das leis mecânicas de Newton, estabeleceram os princípios da teoria das associações, admitindo a noção de que as idéias complexas

eram construídas a partir de idéias sensoriais simples. O desejo de descrever o pensamento e o raciocínio também era expresso por Leibnitz, que pretendia formalizar uma "álgebra do pensamento", idéia desenvolvida no século seguinte por George Boole no seu livro "As Leis do Pensamento" e por Whitehead e Russell em "Principia Mathematica".

Ainda no século XIX, Charles Babbage apresentou a primeira sugestão de uma máquina de calcular automática e quando, em princípios do século seguinte, Karel Capek escreveu sobre um robô projetado por ele - criando e introduzindo o termo - uma máquina inteligente era ainda considerada uma idéia impraticável.

Na primeira metade do século XX, vários outros cientistas vieram contribuir na elucidação de questões vitais para o andamento dos estudos. Em 1943, Warren McCulloch e Walter Pitts elaboravam um estudo sobre os neurônios, deduzindo que seu comportamento poderia ser descrito através de interruptores binários. Demonstraram, ainda, que uma rede desses interruptores seria capaz de simular todas as funções da lógica simbólica.

Em 1948, foi publicado "Cybernetics", de Norbert Wiener, batizando a ciência que nascia. Em 1950, Alan Turing publicou em artigo intitulado "Pode uma máquina pensar?", propondo um teste para determinar se um computador podia ou não ser considerado inteligente. Em 1952, Ashby publicou o livro "Projeto de um cérebro",

propondo imitar um cérebro na habilidade de aprendizagem.

No início da segunda metade do século XX a Inteligência Artificial, como área de estudo, já se mostrava como assunto legítimo e bastante estendido, no mínimo para especulações filosóficas, sendo de interesse de matemáticos, engenheiros eletricitas, lógicos, psicólogos e cientistas de interesses mais práticos : os da Ciência da Computação. Com a crença comum de que o pensamento podia existir fora do cérebro humano e de que o computador era o ambiente mais apropriado para tal, esses cientistas concentraram seus estudos em como a máquina poderia ser usada não apenas para resolver tarefas tediosas e cansativas mas, também, para realizar tarefas difíceis demais e que exigissem conhecimento, raciocínio e aprendizagem.

Baseada nessas expectativas, realizou-se em 1956 a Conferência de Dartmouth (The Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence), em Hannover, New Hampshire, EUA, organizada por John McCarthy e Marvin Minsky, contando com a participação dos pesquisadores Allen Newell, Arthur Samuel, Claude Shannon, Hebert Simon e outros. Nesta reunião foram definidos os rumos que deveriam tomar as pesquisas nessa área emergente. Nascia a Inteligência Artificial (IA). Alguns a saudaram como o maior avanço já visto pelo homem e previram o dia - num futuro não muito remoto - em que os computadores auxiliariam os pensadores do mesmo modo que as máquinas auxiliam os operários.

Visualizaram o computador realizando tarefas que só um gênio poderia desempenhar, surpreendendo até mesmo os mais brilhantes. Os primeiros sinais eram bastante estimulantes.

Vários projetos ambiciosos foram definidos em Dartmouth : um sistema de neurônios artificiais, um modelo de córtex visual do cérebro, um robô que pudesse construir uma representação interna do seu ambiente, programas provadores de teoremas e programas jogadores de xadrez.

Em 1957, Bernstein desenvolveu o jogador de xadrez. E, no ano seguinte, concretizou-se a primeira realização significativa : Newell, Simon e Shaw criaram o GPS (General Program Solver), um programa que podia resolver quebra-cabeças, como o da torre de Hanoi; e provar teoremas do cálculo de predicados. Newel e Simon chegaram a afirmar que "dentro de 10 anos um computador será o campeão mundial de xadrez, poderá compor música de valor estético estimável e será capaz de descobrir e provar um teorema matemático importante". O otimismo imperava.

O GPS foi criado para resolver problemas de natureza diversa e independente do campo de conhecimento, baseando sua força em técnicas gerais de resolução de problemas [BARR 81]. No entanto, apesar de obter sucesso em algumas áreas, houve muitos outros problemas que o GPS não conseguiu resolver. A opinião geral estabelecida era a de que, para melhorar o seu desempenho, bastaria se acrescentar mais métodos de natureza geral ao arsenal já existente. Depois,

isso se mostrou ser errado, pois se baseava em duas suposições errôneas : a de que conhecíamos quais outros métodos adicionar e a de que esses métodos gerais conhecidos eram poderosos o bastante para resolver diferentes tipos de problemas.

Para atingir esses objetivos, os pesquisadores de Inteligência Artificial tiveram que acrescentar outro item ao elenco de pontos a esclarecer : descobrir como funcionava a mente humana. Isso evidenciou problemas muito mais complexos do que se poderia ter imaginado : concluiu-se que o espaço de soluções era grande demais para os computadores existentes, requerendo quantidades excessivas de memória e tempo de máquina.

Iniciou-se para a Inteligência Artificial a etapa das constatações das limitações das técnicas e ferramentas existentes, fazendo com que ela se tornasse um campo sem perspectivas. As verbas para os projetos importantes foram reduzidas ou canceladas, e sensibilizar administradores em reinvestir na área passou a ser uma difícil tarefa.

Dez anos depois (1968), o sucesso alcançado pelo projeto DENDRAL levou os pesquisadores de IA a redefinir a direção de suas buscas de solução. O DENDRAL foi projetado, inicialmente, para enumerar todas as possíveis configurações de um dado conjunto de átomos, fornecendo ao químico uma lista dos componentes que ele estava tentando identificar [MICH 82]. A medida em que se ia obtendo sucesso, os

objetivos do projeto iam sendo ampliados, até que se dedicou a um problema real : o da identificação de estruturas moleculares a partir de dados analíticos. Isto funcionou a contento e o DENDRAL tornou-se uma poderosa ajuda para resolução de problemas neste ramo da Química.

Apenas posteriormente veio a compreensão de que o projeto atingiu o sucesso almejado porque buscava soluções na direção contrária a dos outros. Em vez de pesquisar métodos gerais para resolução de problemas independentes do domínio de conhecimento, eram pesquisados métodos específicos para resolução de problemas num domínio de conhecimento específico. Os pesquisadores perceberam o engano em atacar problemas de natureza geral.

A década seguinte (1970) viu surgir os protótipos de sistemas computadorizados que se concentravam em problemas bem definidos e aplicações para situações bem estruturadas e, posteriormente, o desenvolvimento de ferramentas para construção de tais sistemas. Era o reconhecimento da validade da tecnologia para Inteligência Artificial.

Passado o exagero do entusiasmo inicial e o desânimo advindo dos primeiros contratempos, a Inteligência Artificial retomou, na década de 80, o lugar de importância que lhe devia ser conferido na ciência da computação. O reconhecimento de sua utilidade tem sido confirmado pela comercialização dos seus produtos e pela criação e consolidação de companhias cujo objetivo é desenvolver

tecnologia para IA.

Alguns sistemas resolvendo problemas de Química, Biologia, Medicina, Matemática, Engenharia, com níveis de desempenho comparáveis aos dos especialistas humanos nestas áreas, têm suscitado interesse tanto na comunidade científica quanto na industrial.

O tratamento de processamento de dados não numéricos, envolvendo solução de problemas, inferências e sistemas baseados em conhecimento, como os supra-citados, fez surgir a necessidade de uma nova geração de computadores, que funcionasse de modo mais conveniente para essas aplicações e que apresentasse a melhor interface homem-máquina possível.

Essa preocupação levou o Japão à definição de um projeto de desenvolvimento de sistemas de computadores de quinta geração, com o título de Fifth Generation Computer Systems (FGCS), com início formal em 1982. O computador de quinta geração será orientado para processar conhecimento, terá uma alta capacidade lógica, hardware com milhares de processadores funcionando em paralelo numa arquitetura diferente da clássica de Von Neumann, software altamente eficiente no uso do hardware, interface com o homem através de linguagem natural escrita e falada, desenhos, fotografias e outros meios de nível extremamente elevado.

Esse projeto reabilita a Inteligência Artificial perante a comunidade científica, uma vez que dela surgirão

as bases para o desenvolvimento dessas máquinas do futuro. Esta é, senão a maior, a mais conhecida amostra da importância da Inteligência Artificial como área de pesquisa.

### 1.1.2 Estrutura

Pode-se definir Inteligência Artificial, ou simplesmente IA, como um ramo da ciência que desenvolve conceitos e métodos que fazem uma máquina se comportar de maneira inteligente, significando não apenas a capacidade inovadora e criativa dos seres humanos mas, principalmente, como adquirir, transformar e aplicar conhecimento [BARR 81]. Portanto, IA lida com tipos de problemas relacionados com a maioria das atividades humanas tais como planejamento, projeto, análise de consultoria, que não são consideradas práticas para serem programadas com software convencional. Essa forma de solução de problemas requer processamento de símbolos e conceitos em vez de números, sendo difícil descrevê-los num processo passo a passo, devido a sua ambiguidade, incerteza e complexidade.

Duas grandes categorias compõem a estrutura da Inteligência Artificial : os elementos básicos e suas aplicações. A primeira reúne os mecanismos básicos da IA e as técnicas de implementação que são comuns às várias aplicações. A segunda é constituída de programas que executam atividades intelectuais. A distribuição destes

elementos consta na figura 1.1.

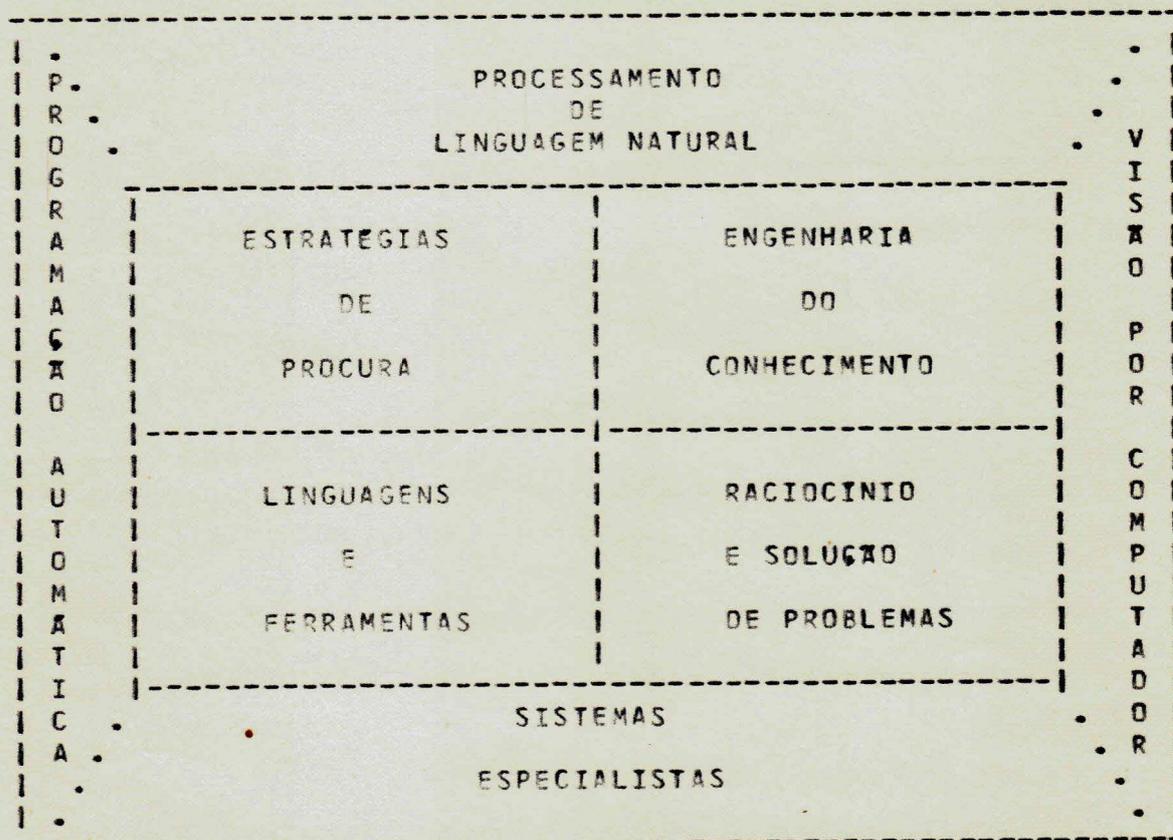


FIGURA 1.1: Elementos básicos e aplicações da Inteligência Artificial.

### 1.1.2.1 Elementos Básicos

#### a) Estratégias de procura

A interligação entre os diversos elementos torna difícil separar os assuntos pertinentes a cada um deles. No caso de Raciocínio e Solução de Problemas e Estratégias de

Procura, essa interdependência se acentua de modo tal que para definir essas estratégias é necessário antes lançar mão da conceituação do que seja um problema. Pode-se definir um problema como sendo a necessidade de alterar determinada situação a fim de se obter uma outra situação pretendida [GEVA 82]. A solução para um problema é uma sequência apropriada de ações que permita atingir o estado final de transformação da situação. Para resolver um problema de maneira satisfatória é importante escolher uma boa maneira de representá-lo. Uma abordagem bastante utilizada é a de decompor o problema em "estados" e "operadores".

Resolver um problema significa aplicar um conjunto de operadores, a um estado inicial, de acordo com uma estratégia, até alcançar o estado final desejado. O conjunto de todas as configurações possíveis é o "espaço de estados" do problema, representados, normalmente, por grafos onde os nós correspondem aos estados e os arcos correspondem aos operadores, responsáveis pela transformação de um estado em outro. A maioria dos problemas tratados em IA possuem um espaço de estados muito grande, como por exemplo, os sistemas jogadores de xadrez, onde o número estimado de jogadas é da ordem de  $10^{120}$ ; ou ainda, os provadores de teorema com espaços infinitos.

O problema crucial da procura são as limitações de tempo e memória da máquina na busca de soluções. Ao se aplicarem os operadores, o número de estados gerados cresce

de maneira tal que pode inviabilizar a solução, gerando o fenômeno conhecido como explosão combinatorial. Vários métodos heurísticos têm sido desenvolvidos na tentativa de contornar esta situação, aumentando a eficiência da procura. A pesquisa heurística, que utiliza o conhecimento heurístico no domínio do problema, representa uma contribuição especial na solução eficiente de problemas.

b) Raciocínio e solução de problemas

Resolver problemas pelo computador consiste em conseguir conclusões automaticamente, a partir de fatos conhecidos, utilizando um tipo de "raciocínio" que permita fazê-lo de maneira rápida e eficiente. Identificamos, num sistema de Inteligência Artificial para solução de problemas, três componentes principais :

- i) uma base de dados que reúne os fatos conhecidos;
- ii) um conjunto de operadores, usados para serem aplicados aos dados;
- iii) uma estratégia de raciocínio que permite descobrir quais operadores aplicar e em qual sequência, de modo a se atingir a solução desejada.

De acordo com o modo de aplicação dos operadores à base de dados [WATE 85], esses sistemas utilizam os seguintes tipos de raciocínio :

i) progressivo ou orientado pelos dados (forward chaining) : os operadores são aplicados, a partir do estado inicial, com o objetivo de atingir o estado final;

ii) retroativo ou orientado pelo objetivo (backward chaining) : aplicam-se os operadores sobre o estado final desejado, gerando subobjetivos, até ser gerado o estado inicial;

iii) análise de meios e fins : consiste em comparar o estado atual com o desejado, encontrando-se a diferença entre eles e aplicando-se, a seguir, o operador mais apropriado para reduzir esta diferença. Envolve os dois outros tipos de raciocínio.

A escolha de qual técnica usar deve levar em consideração as especificações do problema a resolver.

#### c) Engenharia do Conhecimento

A tecnologia desenvolvida pela Engenharia do Conhecimento visa criar meios de adquirir, armazenar, distribuir e aplicar conhecimento, através do computador. O conhecimento humano, devido a sua natureza fragmentária, não se ajusta aos modelos convencionais de sistemas, necessitando novas formas de organização. Os sistemas baseados em conhecimento - a saída para o tratamento dessa questão - diferem dos convencionais no modo em que são organizados, no modo em que incorporam o conhecimento, na

forma de execução das tarefas e na maneira como interagem com o mundo real. Eles simulam o desempenho de um especialista humano, acumulando conhecimento crítico e heurístico, adotando linhas de raciocínio que pareçam apropriadas para os dados à mão, acrescentando novos conhecimentos e sendo capazes de fornecer explicações sobre seu comportamento quando assim solicitados.

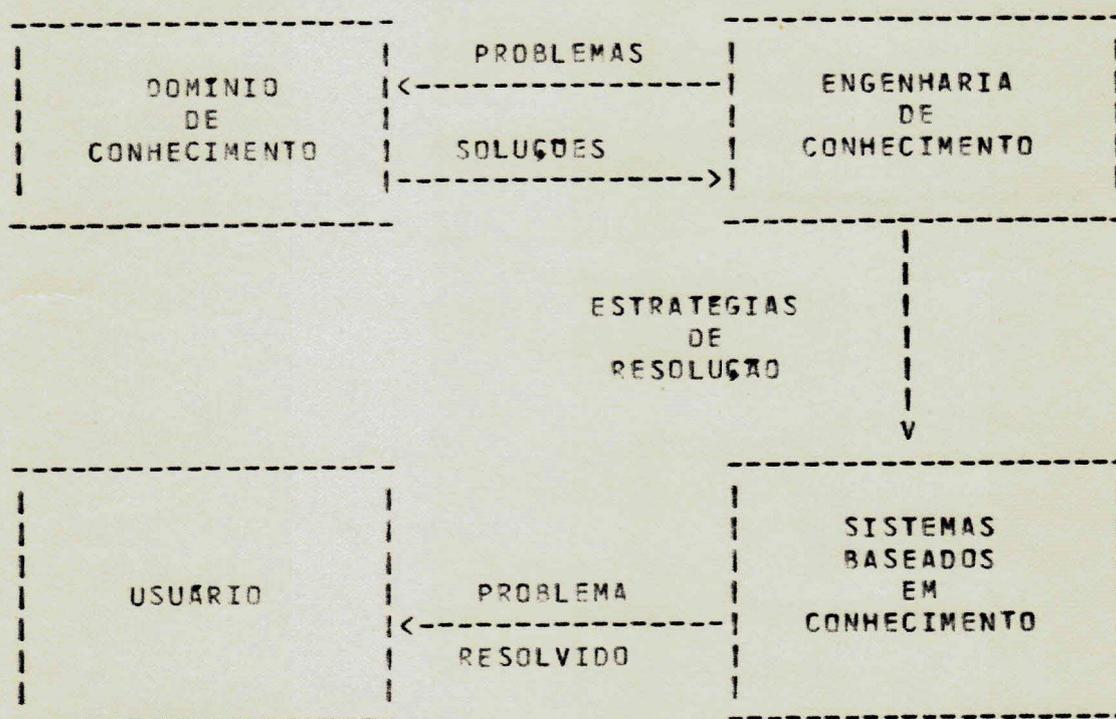


FIGURA 1.2: Ciclo de solução de problemas através de sistemas baseados em conhecimento.

### c) Linguagens e ferramentas

As linguagens de programação existentes, ditas procedurais, se aplicam à solução de problemas para os quais se conhece um método definido de resolução, isto é, um algoritmo. A filosofia para a solução de problemas da Inteligência Artificial serviu de base para a criação das linguagens não-procedurais, com estruturas de dados e controle compatíveis com essa filosofia. As linguagens de programação mais usadas, em sistemas de IA, são LISP (preferida pela comunidade americana) e PROLOG (preferida por europeus e japoneses).

As ferramentas consistem de programas que ajudam a adquirir e representar o domínio de conhecimento, bem como projetar o sistema a ser desenvolvido [FORS 84]. A figura 1.3 mostra alguns exemplos de ferramentas e linguagens usadas.

#### 1.1.2.2 Aplicações

##### a) Processamento de linguagem natural

A comunicação entre o homem e o computador é feita através das linguagens de programação. Se essa comunicação pudesse ser feita através de linguagens naturais (Português, Inglês, etc), sua utilização seria mais acessível. O objetivo da pesquisa nessa área é o desenvolvimento de programas capazes de entender comandos escritos ou falados em linguagem natural.

NOME	DESCRIÇÃO
AGE	ferramenta de construção de sistemas baseados em conhecimento, implementada em INTERLISP.
PLUME	ferramenta de desenvolvimento de interface de linguagem natural.
TEIRESIAS	ferramenta de aquisição de conhecimentos.
EXPERT	ferramenta de desenvolvimento de sistemas.
EMYCIN	idem.
ROSIE	idem.
PROLOG	linguagem de programação baseada em Lógica.
LISP	linguagem de programação com representação procedural.
COMMON LISP	linguagem de programação.
INTERLISP	idem.
SMALLTALK	idem.

FIGURA 1.3: Algumas ferramentas e linguagens para construção de sistemas baseados em conhecimento.

Quanto à linguagem escrita, no princípio, os programas funcionavam como tradutores, consultando as

palavras num "dicionário" e ordenando as palavras traduzidas numa forma correta. Esse tipo de abordagem essencialmente sintática mostrou-se ineficiente e foi substituída pela do entendimento. A compreensão do significado de uma sentença possibilitaria à máquina traduzi-la. Como o uso da linguagem pelas pessoas é um processo cognitivo [MCCO 75], os pesquisadores decidiram modelar a linguagem como um sistema baseado em conhecimento.

A pesquisa em entendimento de linguagem falada padece de dificuldades advindas do processo de reconhecimento dos sinais da voz, tais como diferença de pronúncia, justaposição das palavras, etc. De novo a pesquisa voltou-se para o entendimento e os sistemas passaram a interpretar os sinais levando em conta conhecimentos sobre palavras, regras de conversação e sobre o assunto enfocado.

#### b) Visão por computador

A pesquisa nesta área tem sua maior motivação no fato de tentar fazer com que as máquinas possam "compreender" e "sentir" melhor seu meio ambiente. Para tal, o primeiro passo é dado no sentido de provê-las com a capacidade de entender cenas a partir de imagens projetadas. Isso permite o desenvolvimento de tecnologia de sensores visuais que possibilitam aos robôs operarem em ambientes não previstos. As aplicações nesta área trazem, claramente, benefícios para o setor industrial.

### c) Programação automática

Atualmente, a tarefa de programar exige das pessoas a especificação, em todos os detalhes e numa forma correta, do trabalho a ser realizado pelo computador. Os próprios ambientes de programação não são muito naturais para a maneira como os problemas são concebidos. Estes fatores fazem com que o software seja caro e pouco confiável.

A programação automática propõe um novo estilo de programação, permitindo ao programador especificar seus problemas num nível superior, sem a preocupação do detalhamento. A automação de partes do processo de programação ajuda os programadores a manipular grandes programas, o que, a partir de especificações mais simples, geram subprogramas, diminuindo o trabalho de programação.

### d) Sistemas especialistas

A Engenharia de Conhecimento lida com domínios onde os fatos apresentam, na maioria das vezes, conexões pouco nítidas e associações subjetivas, resistindo, por esta razão, à formalização matemática e requerendo abordagem não numérica.

A tecnologia resultante desse campo de estudos produz sistemas chamados Sistemas Especialistas, definidos como programas que incorporam o conhecimento e experiência de um especialista humano, em determinada área, de tal forma que possam fornecer decisões, conselhos ou soluções

inteligentes, na resolução de problemas complexos [JOHN 83].

Esta abordagem representa uma mudança de consequências revolucionárias na área de projeto de sistemas, pois substituiu a tradição do software [JOHN 83]

de :

Dados + Algoritmo = Programa

por :

Conhecimento + Inferência = Sistema.

Perguntas do tipo : "Quem os usa ?", "Para que servem ?", "Quais os domínios apropriados ?", Podem ser respondidas [NAU 83] examinando as características de um sistema especialista e suas aplicações, listadas a seguir :

- limitam-se a um domínio específico de conhecimento;
- devem atingir um nível de desempenho tão bom quanto o do especialista humano neste mesmo domínio;

- podem raciocinar com dados imprecisos;
- podem raciocinar heurísticamente usando o que os especialistas consideram eficientes regras práticas;
- manipulam descrições simbólicas;
- avaliam múltiplas hipóteses concorrentes, simultaneamente;
- explicam sua sequência de raciocínio de modo compreensível, justificando suas conclusões;
- são projetados para crescer à medida que aumentam os conhecimentos na área;
- devem desempenhar atividades tais como : interpretação, previsão, diagnose, planejamento, monitoração, instrução, controle, dependendo do tipo de problema a ser resolvido;
- as áreas de aplicação mais ativas são Medicina (diagnóstico, tratamento, monitoração), Química (síntese e interpretação de dados químicos), Geologia (exploração mineral e prospecção de petróleo), Computação (diagnóstico de falhas de equipamentos e configuração de computadores), Eletrônica (projeto de circuitos e dispositivos micro-eletrônicos), Engenharia (análise estrutural), Educação (ensino auxiliado por computador) e ainda Matemática, Física, Meteorologia, Direito.

Embora a pesquisa nesta área seja ainda relativamente recente, já foi desenvolvido um número considerável de sistemas especialistas com boa qualidade de desempenho, conseguindo ótimos resultados em áreas de conhecimento lidando com incompletude ou incerteza, mal-estruturadas ou complexas demais para serem modeladas matematicamente (ver figura 1.4).

SISTEMA	ÁREA DE CONHECIMENTO
DENDRAL	sistema especialista para identificação de estruturas moleculares.
MACSYMA	sistema especialista para manipulação de fórmulas matemáticas.
MYCIN	diagnose e tratamento de infecções sanguíneas bacterianas.
CASNET	diagnose e tratamento do glaucoma.
PROSPECTOR	prospecção mineral.
NOAH	planejamento de ações de um robô.
DART	diagnóstico de falhas em computador.
R1	configuração de computador DEC-VAX.
SACON	análise estrutural.
EURISKO	projeto de dispositivos microeletrônicos.
HEARSAY II	entendimento de linguagem natural.

FIGURA 1.4: Exemplos de sistemas especialistas desenvolvidos.

A figura 1.5 estabelece as principais diferenças entre os sistemas especialistas e os sistemas convencionais.

SISTEMAS ESPECIALISTAS	SISTEMAS CONVENCIONAIS
Processamento de informações simbólicas.	Processamento de informações numéricas.
Resoluções de problemas mediante aplicações de processos de inferência.	Resoluções mediante aplicações de algoritmos.
Capacidade de explicação dos resultados.	Incapacidade de explicar os resultados alcançados.
Possibilidade de modificação e aquisição de conhecimentos.	
O sistema é compreensível para o usuário.	O sistema é apenas compreensível para o construtor do mesmo.
Tolerância a resultados parcialmente satisfatórios.	Admite apenas resultados precisos.
Estrutura de controle separada das informações.	Estrutura de controle integrada à informação.

FIGURA 1.5: Comparação entre sistemas especialistas e sistemas convencionais.

## 2. ARQUITETURA DE SISTEMAS ESPECIALISTAS

### 2.1 Estrutura e Desenvolvimento

Uma das principais aplicações da Inteligência Artificial é o desenvolvimento de produtos cuja finalidade primordial é resolver problemas [BUCH 84]. Os dois principais métodos de resolução de problemas usados por esses produtos são o geral (ou independente do domínio de aplicação) e o específico (ou dependente do domínio). A maioria dos métodos específicos utilizam conhecimentos extraídos de especialistas humanos (sob a forma de regras, fatos, observações, heurísticas). Os sistemas que utilizam estes métodos específicos são ditos sistemas baseados em conhecimento (knowledge-based systems) ou sistemas inteligentes baseados em conhecimento (intelligent knowledge-based systems); abreviados por KBS e IKBS, respectivamente.

Os sistemas especialistas são uma subclasse dos sistemas baseados em conhecimento que se restringem a um domínio específico de especialização do conhecimento. Assim podemos definir um sistema especialista como um KBS que emula o raciocínio de um especialista humano para resolver problemas significantes relativos a um domínio particular de conhecimento [KAST 84].

Os sistemas especialistas codificam esse conhecimento, obtido com a orientação de um especialista

humano, num banco de informações onde as mesmas são representadas de uma forma estruturada [HAYE 84]. A constituição desse banco, chamado de "base de conhecimento", é feita pelo engenheiro de conhecimento através de um processo dito "aquisição do conhecimento", no qual ele transfere todas as informações consideradas relevantes, pelo especialista, para a resolução do problema. A manipulação da base de conhecimento, através de um sistema de controle, permite ao sistema especialista inferir respostas e soluções. Um sistema de interface com o usuário possibilita o conhecimento de fatos que auxiliam a busca de soluções, a modificação da base de conhecimento e a divulgação dos resultados atingidos pelo sistema. Vide figura 2.1.

É necessária uma análise detalhada do problema com vistas a decidir se é apropriado e cabível a construção de um sistema especialista para solucioná-lo. Os objetivos do mesmo devem ser compatíveis com certas características. A tarefa não pode ser extremamente difícil, de modo que seja complexo demais o seu entendimento para uma abordagem da Engenharia do Conhecimento. Do mesmo modo, ela deve estar suficientemente compreendida, sendo natural detectar as soluções. É conveniente, também, que ela requeira proficiência cognitiva e não apenas bom senso para o seu desempenho. Além de tudo isso, é indispensável a existência de um especialista e seu compromisso e interesse em

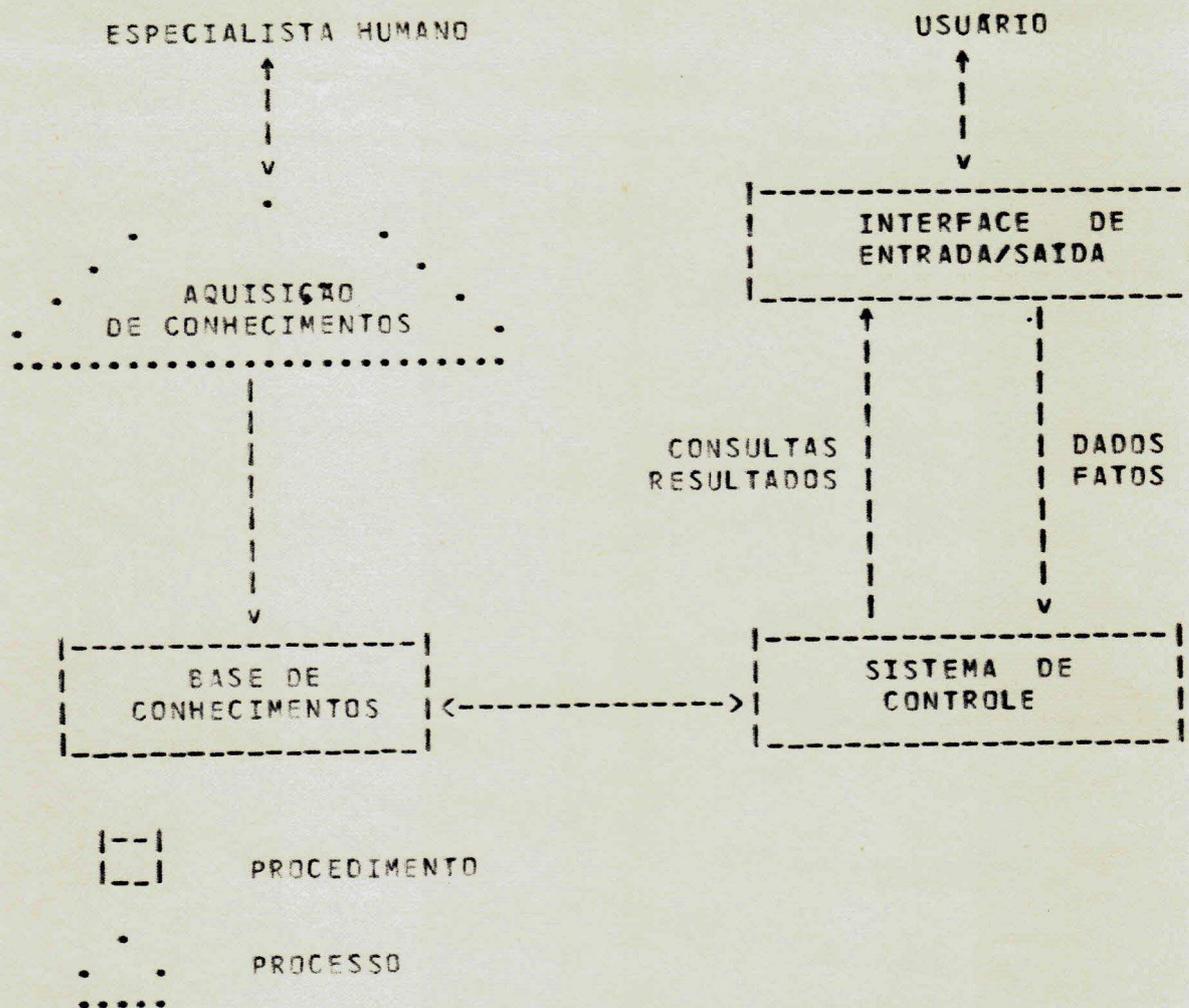


FIGURA 2.1 : Estrutura geral de um Sistema Especialista.

articular e explicar os conceitos e métodos por ele utilizados para resolver o problema. Um estudo da viabilidade e custo do sistema também deve garantir argumentos que justifiquem a construção do mesmo. Estes estudos devem avaliar os custos, estimar o tempo e recursos necessários, considerar se os objetivos são factíveis dentro dos meios disponíveis.

Preenchidas as exigências anteriores, pode-se passar

à fase de elaboração de um protótipo, englobando apenas uma fração significativa do conhecimento. A formalização do conhecimento a ser manipulado deve estabelecer a estrutura da informação, sua forma de representação (uso de regras de produção, por exemplo) e a estratégia de controle adotada (de qual modo o conhecimento vai ser manipulado). O passo seguinte é a implementação, onde o engenheiro de conhecimento deve optar por uma linguagem ou ferramenta.

A última etapa de elaboração de um protótipo envolve a verificação dos objetivos, a avaliação do desempenho e comportamento do sistema e a revisão, quando necessário. Avaliar o desempenho significa constatar se as decisões tomadas pelo sistema são consideradas satisfatórias pelo especialista. As revisões são feitas no sentido de tornar o sistema ainda mais rápido, confiável, fácil de usar e entender.

Uma vez construído o protótipo procede-se à sua ampliação, introduzindo-se todo o conhecimento disponível a fim de que ele possa ser avaliado em toda sua extensão. Reinicia-se uma nova fase de aquisição do conhecimento e um novo ciclo de testes.

Finalmente, após cumprir todas essas etapas, o sistema entra no estágio de comercialização. A figura 2.2 esquematiza as etapas de desenvolvimento para construção de sistemas especialistas.

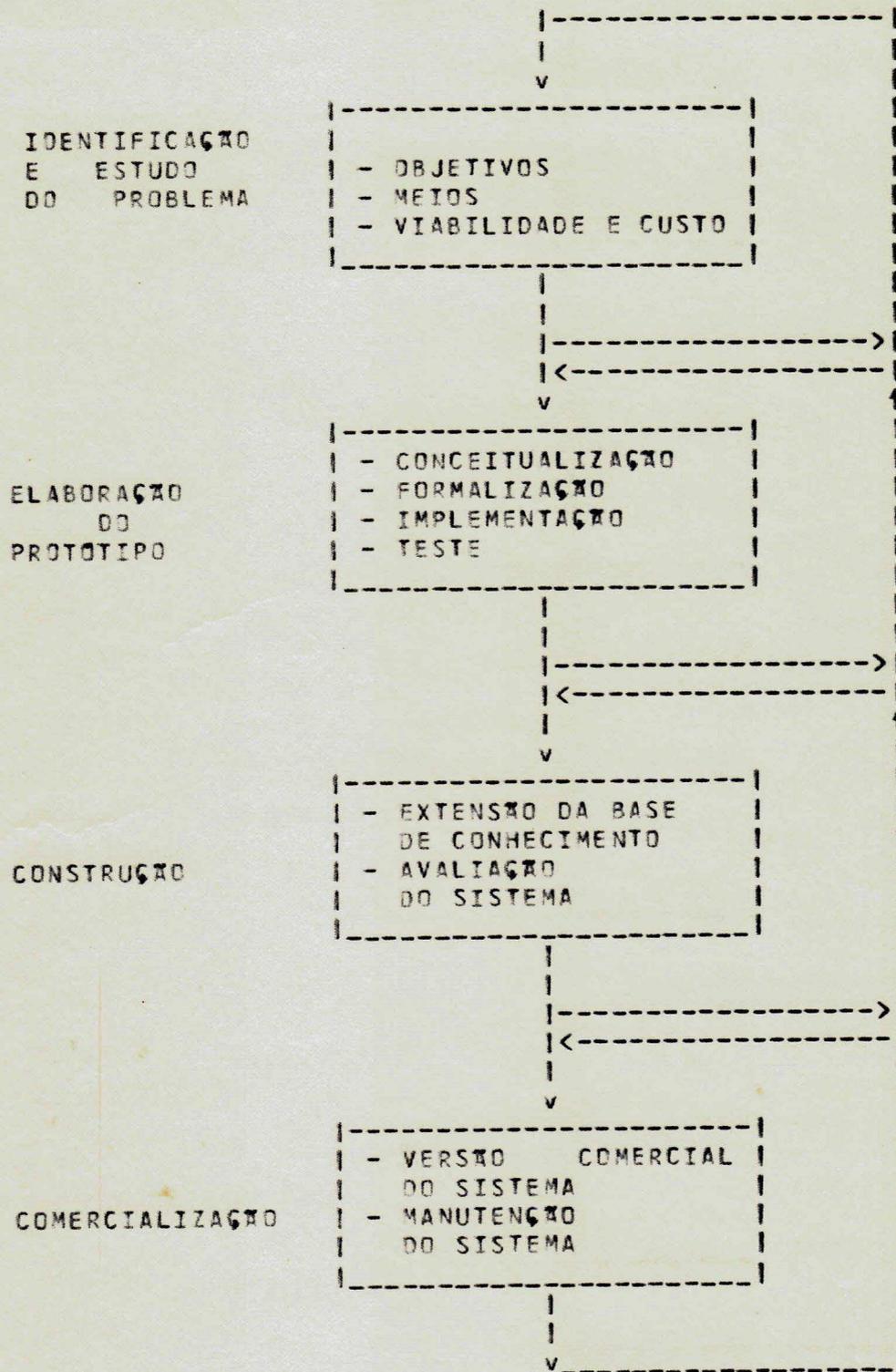


FIGURA 2.2 : Fases de construção de um Sistema Especialista.

## 2.2 Tratamento da Informação

### 2.2.1 Aquisição do Conhecimento

O processo de coletar, ou adquirir, o conhecimento necessário à resolução de um problema, é uma das primeiras dificuldades no desenvolvimento de sistemas especialistas.

O conhecimento, para esses sistemas, se origina, basicamente, de fontes como literatura, exemplos e experiência pessoal. A maioria das aplicações dos sistemas especialistas é feita em assuntos que inviabilizam ou carecem de formulação algorítmica e, no entanto, acumulam um valioso patrimônio de experiências. A maior dificuldade em reunir informações, nestas áreas, reside no fato de ser complicado, para o especialista expressá-las através de leis ou modelos científicos. Infelizmente, até o momento, não existe uma ciência do conhecimento que forneça meios totalmente automáticos para aquisição de conhecimento. No máximo existe uma tendência de comportamento centrada em métodos de entrevista, observação e discussão do problema com o especialista.

### 2.2.2 Representação do Conhecimento

Há, fundamentalmente, dois métodos diferentes de representação do conhecimento : como programas e como dados. Inicialmente, os esquemas de representação eram predominantemente do primeiro tipo. Com o avançar das

pequisas e analisando-se as vantagens e desvantagens de cada um, a preferência foi se tornando nítida pelo segundo tipo, devido, certamente, aos benefícios da facilidade de entendimento, modificação e clareza semântica que os dados oferecem. Dentro desse modo de representação, são disponíveis, entre outros, as modalidades de lógica proposicional, triplas semânticas, "frames", redes semânticas, regras de produção. As três últimas modalidades são as mais utilizadas pelos construtores de sistemas especialistas [WATE 85].

As redes semânticas são um método de representação do conhecimento que consiste de um grafo orientado acíclico onde os nodos expressam conceitos, eventos ou objetos, e os arcos descrevem relações entre os nodos. Essas relações dependem do tipo de conhecimento a ser representado.

Considere a definição de cidadania brasileira :  $X$  é brasileiro se  $X$  é uma pessoa e  $X$  nasceu no Brasil ou então,  $X$  é brasileiro se  $X$  é filho de  $Y$  e  $Y$  é uma pessoa que nasceu no Brasil. A figura 2.3 mostra a rede semântica que representa esta definição.

Os nodos representam os objetos "X", "Y" e PESSOA; e os conceitos de CIDADÃO BRASILEIRO e NASCIDA NO BRASIL. Os arcos representam as relações "é" e "é filho de".

As redes semânticas são maneiras úteis e poderosas de representar conhecimento em domínios que usam taxonomias bem

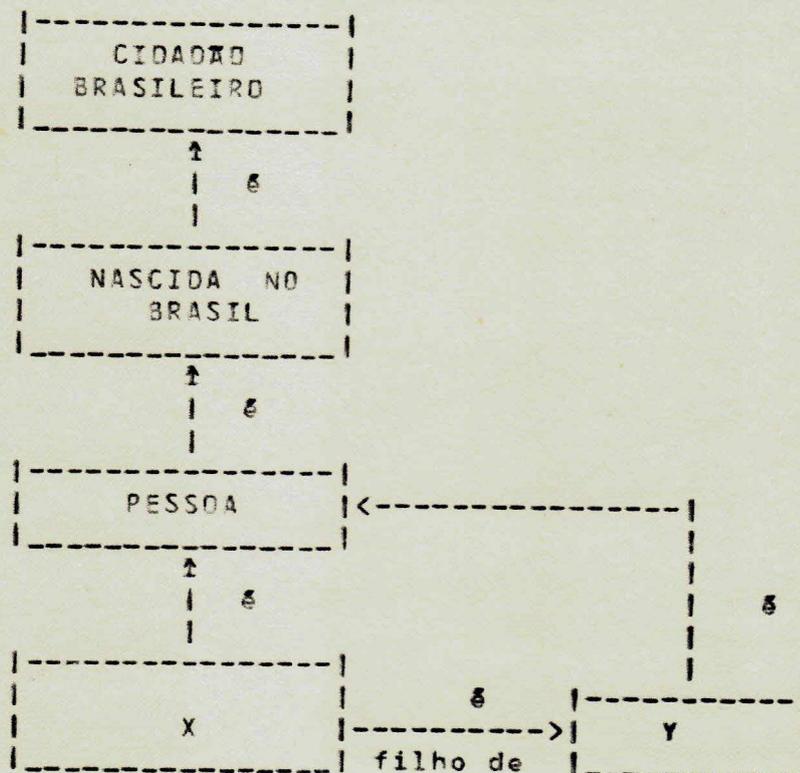


FIGURA 2.3: Estrutura de uma rede semântica para o conceito de cidadania brasileira.

definidas para simplificar a solução dos problemas.

O método de representação que utiliza "frames" é semelhante às redes semânticas. É também uma rede onde os nodos representam conceitos e objetos. As relações, descritas pelos arcos, obedecem a uma hierarquia onde os

nodos superiores representam uma generalização do conceito dos nodos inferiores. Além disso, os conceitos, em cada nodo, são definidos por uma coleção de atributos chamados "slots". A figura 2.4 exemplifica o uso de frames na representação do conceito de medicamento.

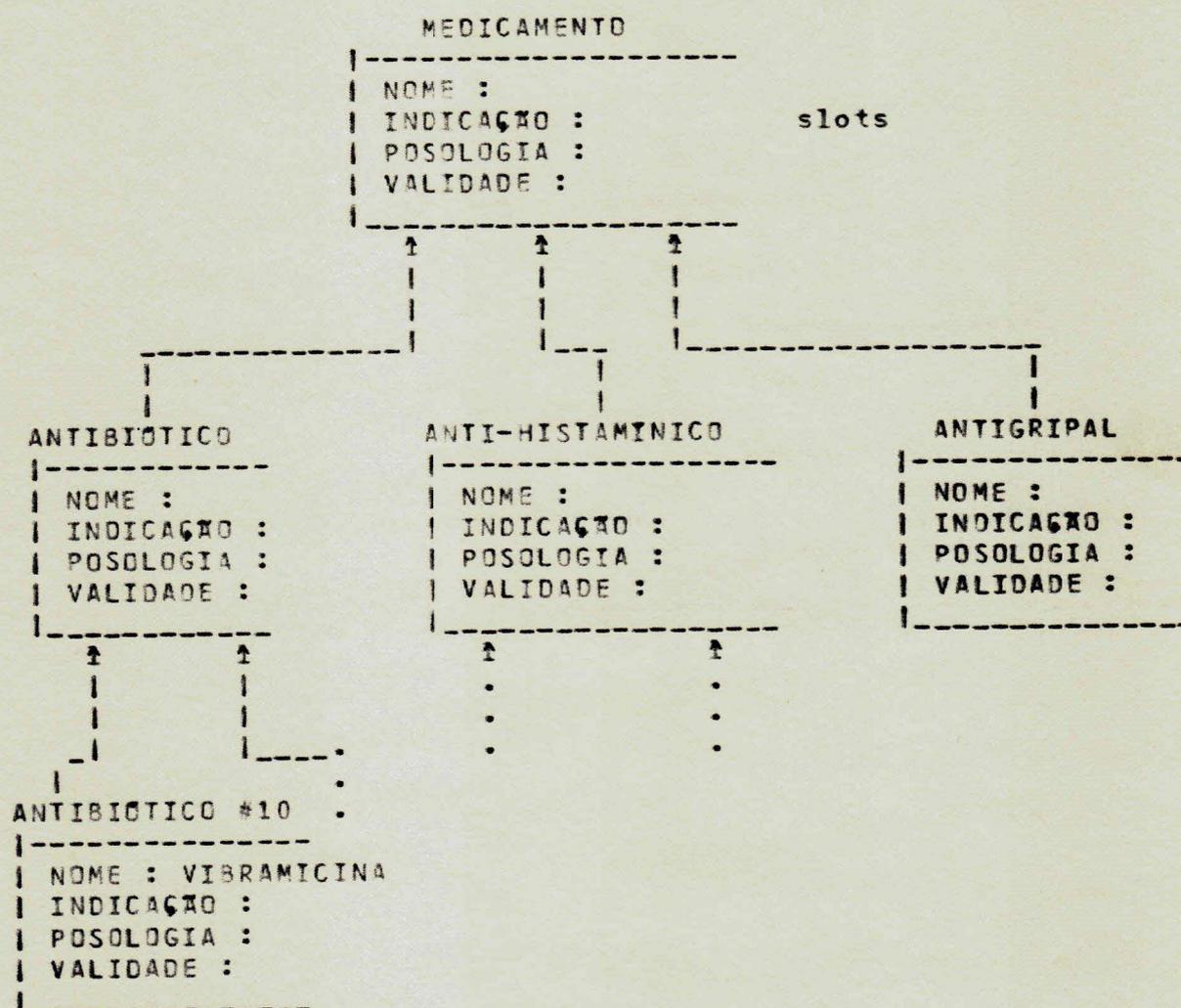


FIGURA 2.4: Representação através de "frame" para o conceito de medicamento.

O processo de adicionar ou remover valores dos "slots" pode ser feito através de procedures que também podem modificar o conteúdo de outros "slots" até que o objetivo seja alcançado.

As regras fornecem um meio natural de representar conhecimento dedutível ou empírico. São expressas como afirmativas do tipo :

IF premissa ENTÃO conclusão ou

IF condição ENTÃO ação

Num sistema baseado em regras, as premissas ou condições são checadas contra fatos ou conhecimento acerca de determinada situação. Se as premissas ou condições são satisfeitas, cabe ao sistema registrar a conclusão ou desempenhar a ação indicada na regra. O conhecimento é especificado através de observações e conclusões.

Estas regras estabelecem relações entre observações e conclusões, e podem ser categorizadas através de três tipos de relações lógicas [WEIS 84] :

a) Regras do tipo Observações-Observações (tipo O-O)

As premissas representam observações e a conclusão também implica numa observação, isto é, observações são deduzidas a partir de outras observações definidas como verdadeiras.

Ex.: Se o paciente apresenta temperatura alta então tem febre.

b) Regras do tipo Observações-Hipóteses (tipo O-H)

Permitem concluir hipóteses a partir de observações.

Ex.: Se o paciente tem febre e congestão nasal, então está gripado.

c) Regras do tipo Hipóteses-Hipóteses (tipo H-H)

Especificam inferências entre hipóteses.

Ex.: Se o paciente está gripado e com tosse crônica, então tem bronquite.

### 2.2.3 Estratégias de Controle

É necessário, também, a definição de estratégias de avaliação das regras que estabeleçam o mecanismo de inferência.

Uma sequência de aplicações de regras com vistas a alcançar uma conclusão é chamada de cadeia de inferência.

Quando o sistema tenta provar as premissas para estabelecer a conclusão, está usando o método de inferência "forward chaining".

O método "backward chaining" faz o caminho inverso : parte da conclusão e tenta estabelecer as premissas necessárias para prova da conclusão.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

#### 3.1 Considerações Gerais

A exemplo do que ocorre na Informática, a prática da Medicina implica em coleta, armazenamento, recuperação e processamento de informações que se avolumam com o passar do tempo, gerando o fenômeno de "inflação" da informação. Publicações especializadas dão conta de que no início do século o montante de doenças e síndromes atingia um total de 3.000 definições, cifra esta que saltava para 30.000, em 1975 [LEÃO 82]. Na mesma proporção cresce o repertório das drogas existentes utilizadas. A administração deste enorme volume de informações, tornando-as úteis na proteção e promoção da saúde, aponta no sentido da necessidade de interação da Informática com a Medicina, ensejando um esforço de sistematização e formalização dos procedimentos médicos.

O problema de diagnóstico médico, em particular, exige do médico um acúmulo considerável de conhecimento e experiência. O computador pode servir de suporte para decisão e ação médica, na busca de um julgamento clínico correto. A figura 3.1 representa a ação médica como um sistema, salientando os diversos fluxos de informação e permitindo situar os pontos nos quais é vantajosa a aplicação da Informática.

O médico lida com dois tipos de informação: a que

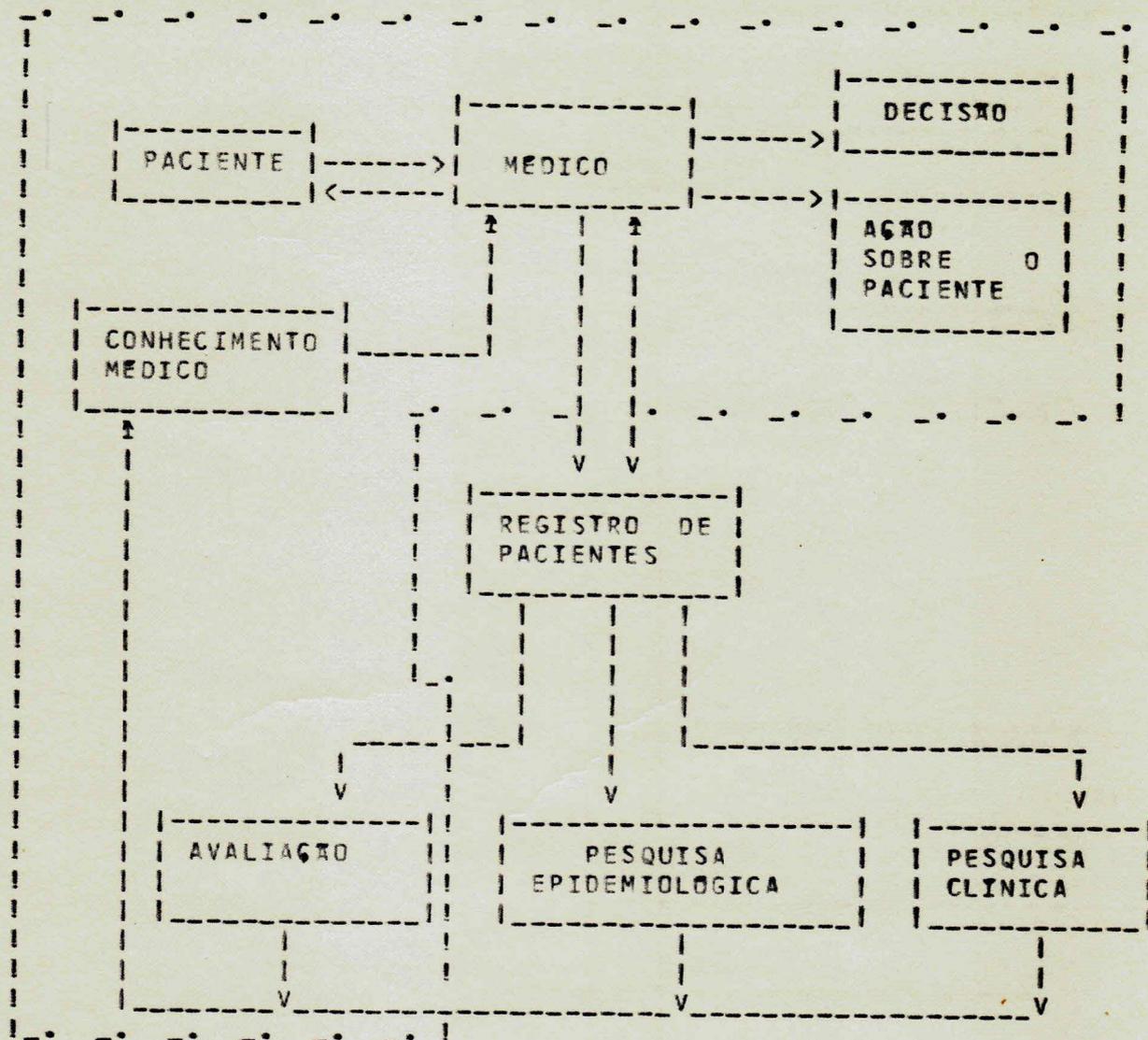


FIGURA 3.1: Um sistema de informações médicas.

obtem do paciente através de exames físicos, laboratoriais e da anamnese; e a proveniente do conhecimento, armazenada em sua memória ou documentada em publicações. A comparação destas informações possibilita ao mesmo uma ação sobre o paciente, expressa em termos de diagnóstico e terapêutica.

O resultado dessa ação, bem com a evolução da doença, se for o caso, produz um novo conjunto de informações que servirão de subsídio para pesquisas clínicas e epidemiológicas, além de alimentar o processo de avaliação da conduta médica, interferindo, por conseguinte, no acervo do conhecimento médico. O processamento eletrônico pode ser aplicado a qualquer dos estágios do sistema referido na figura 3.1 e, dentro da abordagem de sistemas especialistas, fixaremos nosso interesse nos estágios contidos na área hachurada. É conveniente enfatizar, no entanto, a importância do conjunto de observações individuais, geradas pelo registro de pacientes, que tratadas estatisticamente, norteiam os projetos de pesquisa clínica e/ou epidemiológica, de grande valia para os fins da medicina social.

Reduzindo ainda nosso campo de atuação, vamos esquecer a abordagem terapêutica (ação sobre o paciente) e limitar o interesse apenas no que diz respeito à decisão (diagnóstico). O sistema encontra-se definido na figura 3.2

Definida a espécie de problema que o sistema deve resolver, o do diagnóstico médico, identificam-se os seguintes pontos :

- a) o sistema deve formalizar a experiência e conhecimento médicos, fazendo-os cientificamente testável e reproduzível;

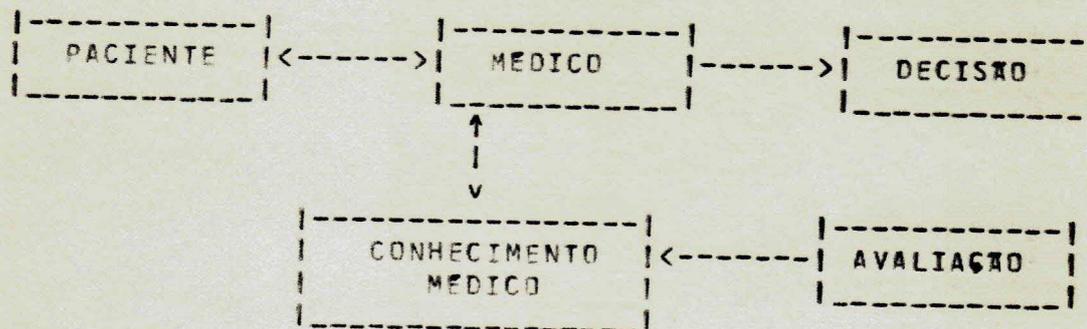


FIGURA 3.2: Sistema de informações médicas orientado para o problema de decisão (diagnóstico).

b) o problema deve ser resolvido, através do computador, usando o método de raciocínio do especialista, de modo a aumentar sua produtividade.

Os itens acima se coadunam com a definição e finalidade de um sistema especialista [GIOR 85], ficando assim justificada a motivação para o projeto e construção de um sistema que possibilite um melhor desempenho do médico em sua área.

O sistema OFTALMO, em particular, tem como objetivo emitir diagnóstico de síndromes oculares, reproduzindo o procedimento do oftalmologista na identificação das mesmas,

a partir do quadro apresentado pelo paciente.

Uma síndrome é definida como sendo um grupo de sintomas e/ou sinais que, considerados em conjunto, caracteriza uma moléstia. Um sintoma é um fenômeno, físico ou psíquico, comum a muitas moléstias. Um sinal é uma evidência objetiva, uma manifestação da moléstia. Percebe-se, então, pela definição de síndrome o seu caráter impreciso e abrangente, uma vez que, sendo um conjunto de sinais, pode apresentar manifestações de várias doenças, evidenciando disfunções de natureza diversa e ligadas aos diversos sistemas que compõem o organismo. Quando neste conjunto encontram-se sintomas ou sinais relacionados com o sistema ocular, essa síndrome é dita síndrome ocular [GEER 69]. Como exemplo de síndrome ocular, citamos o mongolismo, ou síndrome de Down, mais conhecida como relacionada com o sistema nervoso e, no entanto, apresentando características oculares do tipo: miopia acentuada, cegueira de cores, nistagmo (movimento oscilatório dos globos oculares), hipermetropia.

Estabelecer um diagnóstico de uma síndrome ocular além de requerer do oftalmologista esforço e atenção especiais, pois ele terá de lidar com sintomas de ordem geral, afetos a sistemas distintos do ocular, faz com que ele se depare com situações não triviais, quebrando a rotina clínica a que o mesmo está habituado. Esse tipo de atividade difere fundamentalmente da atividade básica de "exame de

vista" que constitui a maior parte de solicitações dos pacientes. A identificação de uma síndrome exige o domínio de um conhecimento não utilizado com frequência e, por isso mesmo, passível de esquecimento. Um sistema que o auxilie na realização desta tarefa, lembrando quais sintomas devem ser pesquisados, obviamente, possibilitará um melhor desempenho de suas funções e também a ampliação de seus conhecimentos e experiência.

### 3.2 METODOLOGIA

O procedimento médico adotado na identificação dessas síndromes, pode variar de acordo com a sistemática de trabalho de cada oftalmologista. O OFTALMO optou por um método simples, mas de efeitos comprovados pelo especialista, Antônio de Medeiros Batista, que serviu de meio de transferência do conhecimento específico.

Havendo a necessidade de ser feita uma investigação no paciente, este oftalmologista, sem a ajuda do computador, age da seguinte forma:

- a) procede a um exame oftalmológico, recolhendo os sinais apresentados pelo paciente em cada um dos dez campos oculares especificados, formando assim o quadro ocular;

- b) com base nas informações contidas no quadro ocular, o médico tenta, por comparação, encontrar uma síndrome cujos sinais oculares que a definem sejam iguais aos apresentados pelo paciente. O resultado dessa comparação é a seleção de uma ou várias síndromes, dentre as conhecidas, cujo conjunto de sinais oculares ou seja igual ao quadro ocular ou tenha um percentual de incidência que permita categorizá-la como candidata. A chance de cada uma dessas candidatas ser confirmada, varia de acordo com a relação entre os sinais observados no paciente e os requeridos pela síndrome;
- c) a partir desse conjunto de síndromes candidatas, o médico pode seguir duas linhas de ação na escolha de qual das hipóteses tentar provar: decidir-se pela que apresentar maior incidência de sinais ou, compelido por sua experiência, por uma que a prática sugira ser a de maior chance;
- d) escolhida qual hipótese desenvolver, ele passa a pesquisar, no paciente, a existência dos sinais gerais requeridos pela mesma. A confirmação da existência desses sinais leva à confirmação da hipótese. A negação ou desconhecimento leva a uma avaliação das hipóteses selecionadas e a uma consequente escolha de outra hipótese a ser testada;

- e) o quadro ocular e geral do paciente, elaborado ao longo do processo, permite, por fim, a emissão do diagnóstico; situando o paciente como portador ou não de determinada síndrome, ou como possuidor de evidências fortes ou fracas que o fazem candidato natural a apresentá-la;

Como se observa, o procedimento de diagnóstico médico, nessa especialidade, consiste em selecionar uma conclusão a partir de uma lista pré-estabelecida de observações, utilizando regras práticas que relacionem observações com conclusões. Este é um exemplo típico de um problema de classificação [WEIS 84], passível de ser estruturado segundo o modelo da figura 3.3.

As observações representam a lista de fatos registrados, as conclusões representam a lista de fatos dedutíveis a partir das observações e as regras expressam o relacionamento entre observações e conclusões.

Um sistema geral que se destine a equacionar esses tipos de problema é o sistema de produção, constituído de :

- a) um conjunto de regras (base de conhecimento);
- b) um sistema de controle (máquina de inferência);
- c) uma base de dados global;

O OFTALMO, portanto, foi projetado e desenvolvido combinando o sistema de produção com o modelo de

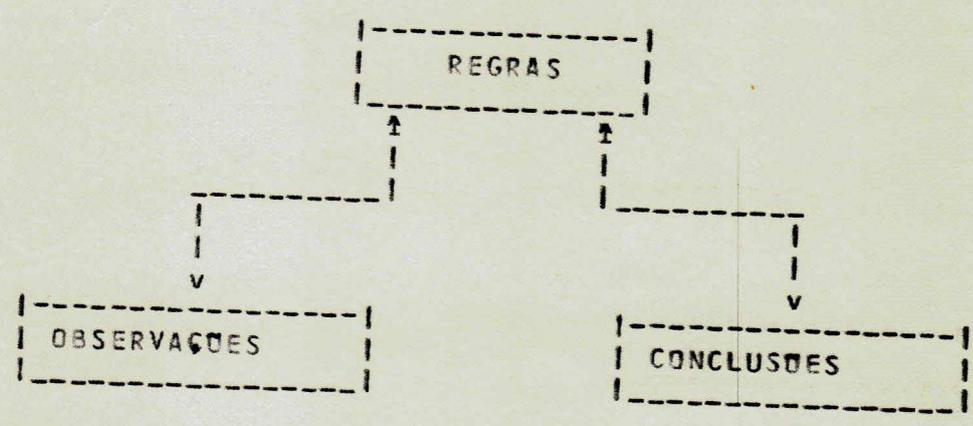


FIGURA 3.3: Modelo de classificação.

classificação (para organização da base de conhecimento),  
resultando na estrutura da figura 3.4.

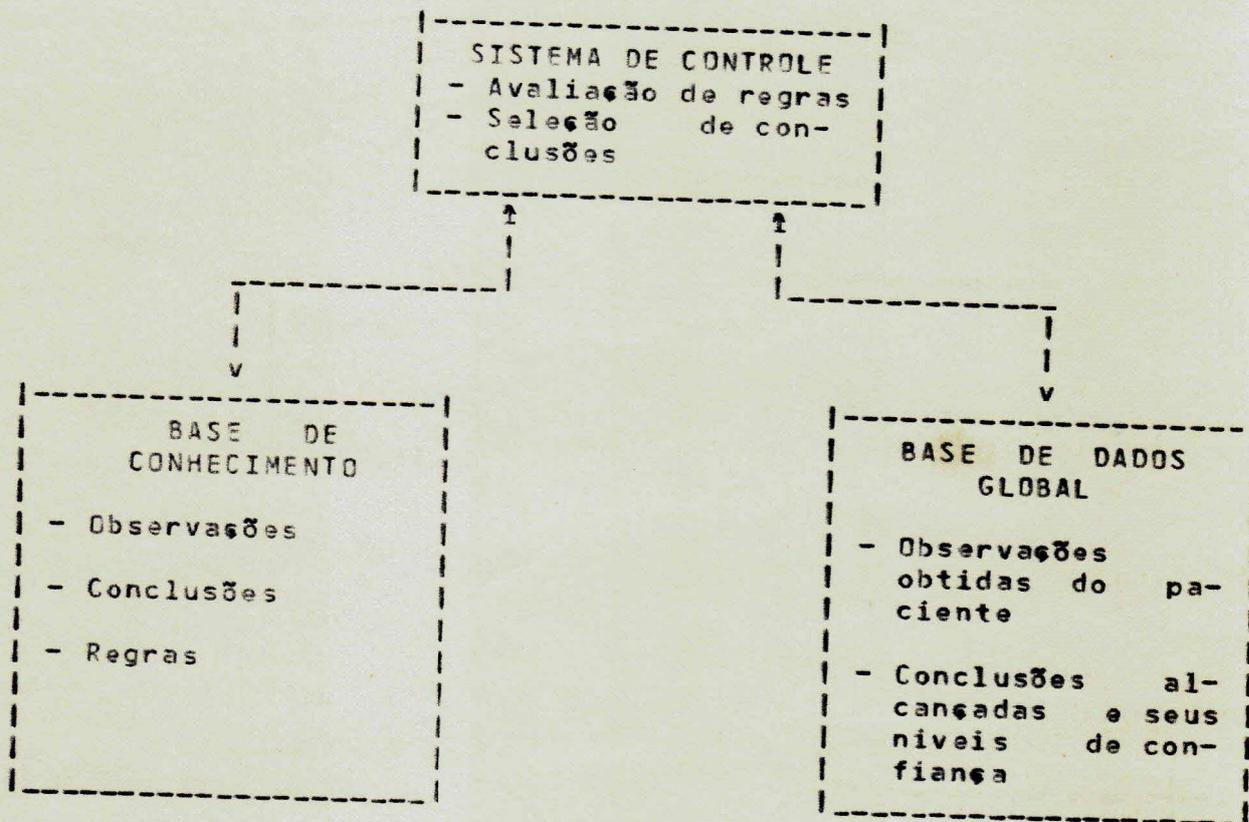


FIGURA 3.4: Sistema de produção combinado com modelo de classificação.

## 4. DESCRIÇÃO DO SISTEMA OFTALMO

### 4.1 Aspectos Globais

A arquitetura do sistema OFTALMO foi definida, no capítulo anterior, em função da natureza da tarefa que ele deve executar : diagnose. Estruturado o sistema, levou-se em consideração o tipo do usuário a que o mesmo se destinava - médicos - e optou-se por um ambiente que fosse acessível e permitisse, sem o fator proibitivo dos custos, que o mesmo pudesse ser utilizado . A escolha recaiu sobre equipamentos do tipo PC que preenchiam as exigências feitas por sistemas especialistas do porte do OFTALMO.

Outro aspecto considerado foi o da implementação . A utilização de ferramentas (tipo EMYCIN, EXPERT, ROSIE, etc) foi afastada, basicamente, por duas razões :

- 1) a utilização de ferramentas tem a vantagem óbvia de reduzir consideravelmente o trabalho de implementação, além de fornecer tanto o meio de pensar sobre o problema como o método para resolvê-lo [SELL 85]. A ferramenta possibilita, ainda, adquirir o conhecimento com muita facilidade, permitindo que até mesmo o próprio usuário se utilize dela para inclusão e/ou alteração de regras. Historicamente, essas ferramentas foram desenvolvidas depois da experiência de construção de um sistema especialista (o EXPERT veio do CASNET, o EMYCIN do MYCIN, o KAS do

PROSPECTOR) [WATE 85]. Sob o aspecto da pesquisa, era importante adquirir, através da tese, experiência na construção de sistemas especialistas num nível de detalhamento só permitido através do uso de uma linguagem de programação . Era importante também a abordagem de métodos de resolução de problema .

- 2) a não disponibilidade de qualquer dessas ferramentas, em nossa Universidade, no momento em que se iniciou o trabalho.

Uma vez feita a opção pela linguagem de programação, restava a decisão de qual delas utilizar. Os pesquisadores de Inteligência Artificial tendem, em sua maioria, a escolher LISP, embora PROLOG tenha sido escolhida com frequência, ultimamente. O debate sobre os méritos e conveniência de cada uma é uma questão puramente acadêmica, uma vez que, ambas, como toda linguagem de programação, arcam com a difícil tarefa de fazer conviver prós e contras. Além do mais, elas não representam a única alternativa. A bibliografia registra sistemas especialistas implementados em PASCAL, FORTRAN, etc. Razões de ordem pragmática orientaram nossa escolha : o fato de PROLOG ter sido menos testado nesse tipo de experiência do que LISP e a possibilidade de verificação da adequação desta linguagem à implementação de um sistema especialista com tais características.

#### 4.2 A base de conhecimento

Com a ajuda do médico foram catalogadas 158 síndromes oculares caracterizadas por seus respectivos conjuntos de sintomas e sinais, subdivididos em sinais oculares e sinais clínicos gerais.

As manifestações oculares, perfazendo um total de 231 sinais, foram especificadas segundos os seguinte campos:

- 1) órbita
- 2) pálpebra
- 3) motilidade
- 4) aparelho lacrimal
- 5) visão
- 6) campo visual
- 7) tensão intra-ocular
- 8) segmento anterior, esclerótica e meios oculares
- 9) retina e coróide
- 10) nervo óptico

Os sinais gerais, num total de 450, seguem a seguinte divisão, por sistema:

- 1) sinais cardiovasculares
- 2) sinais do aparelho digestivo
- 3) sinais endócrinos
- 4) sinais musco-esqueléticos
- 5) sinais do sistema nervoso
- 6) sinais da pele e membranas mucosas
- 7) sinais respiratórios
- 8) sinais urinários

As observações, representadas pelos conjuntos dos sinais oculares e gerais, são organizadas, respectivamente, em dois arquivos TB.SD e TB.SG, contendo as seguintes informações : código e nome do sinal.

As regras, que representam a definição das síndromes, são apresentadas em dois arquivos :

- a) BASE.OG, no qual as regras especificam as síndromes em termos dos sinais oculares. São regras do tipo O-H :

$$s1(S) :- so (S, [o1,o2,\dots,on]).$$

Onde S representa a síndrome e [o1,o2,...,on], a lista de sinais oculares que a define.

Estas regras levam à seleção de hipóteses intermediárias, confirmadas através das regras definidas no item seguinte.

b) BASE.G, no qual as regras especificam as síndromes em termos dos sinais gerais. São regras do tipo H-H :

$$s(S) \quad \quad \quad :- \quad \quad \quad h(S,G,G1),$$

$$sg(S,[g1,g2,\dots,gn],G,G1)$$

Onde :

$h(S,G,G1)$  é a hipótese de a síndrome S ter sido selecionada a partir dos sinais oculares;

G é o grau de certeza calculado com base no quadro ocular;

G1 é o grau de certeza da etapa de avaliação anterior, calculado com base no quadro ocular e geral. Maiores explicações na página 60.

$[g1,g2,\dots,gn]$  é a lista de sinais gerais que caracteriza a síndrome.

A inclusão de novas regras e alteração ou eliminação das existentes não pode ser feita diretamente pelo usuário. O OPTALMO não possui módulo automático de aquisição de conhecimentos.

As conclusões são representadas pelas síndromes e seus respectivos graus de certeza (GC), atribuídos pelo sistema, em casos específicos, e calculados segundo a fórmula :

$$GC = 100 * \frac{|SC|}{|L|} - 50 * \frac{|SN|}{|L|}$$

Onde  $|SC|$  é o total de sinais confirmados, pelo médico, como presentes no paciente. Isto é, o comprimento da lista de sinais presentes no paciente.

$|SN|$  é o total de sinais confirmados, pelo médico, como ausentes no paciente. Isto é, o comprimento da lista de sinais não presentes no paciente.

$|L|$  é o comprimento da lista de sinais que definem a síndrome.

$100 * |SC| / |L|$  indica quantos por cento dos

sinais, requeridos pela síndrome, o paciente apresenta. Quanto maior esse percentual, maior a chance dessa síndrome ser selecionada como candidata.

$50 * SN / |L|$  é um fator de atenuação da medida anterior, levando em consideração quantos dos sinais requeridos não são, efetivamente, apresentados pelo paciente. Vale salientar que a ausência, no paciente, de um (ou de alguns) dos sinais exigidos não descarta a possibilidade do mesmo ser portador da síndrome em questão, mas reduz as chances.

O fato de ser desconhecida a presença, no paciente, de sinais exigidos não altera a relação

$100 * |SC| / |L|$ , embora influencie no grau de certeza.

Considere uma síndrome S definida pelos seguintes sinais oculares :  $L = [o1, o2, o3, o4, o5]$ . Considere, agora, cinco exemplos para o conjunto de sinais oculares (quadro ocular) apresentado pelo paciente. Para cada exemplo, calcularemos o GC correspondente.

a)  $SC = [o1, o2, o3]$  e  $SN = [o4, o5]$

$$GC = 100 * 3/5 - 50 * 2/5$$

$$GC = 40$$

b)  $SC = [o1, o2, o3, o4]$  e  $o5$  é desconhecido

$$GC = 100 * 4/5 - 50 * 0/5$$

$$GC = 80$$

$$c) SC = [o1, o2, o3, o4] \text{ e } SN = [o5]$$

$$GC = 100 * 4/5 - 50 * 1/5$$

$$GC = 70$$

$$d) SC = [o1, o2, o3] \text{ e } SN = [o4] \text{ e } o5 \text{ é desconhecido}$$

$$GC = 100 * 3/5 - 50 * 1/5$$

$$GC = 50$$

$$e) SC = [o1, o2] \text{ e } SN = [o3, o4, o5]$$

$$GC = 100 * 2/5 - 50 * 3/5$$

$$GC = 10$$

$$f) SC = [o1] \text{ e } SN = [o2, o3, o4, o5]$$

$$GC = 100 * 1/5 - 50 * 4/5$$

$$GC = -20$$

O caso b produz o maior grau de certeza, entre os exemplos, pois o paciente apresenta 4 do 5 sinais requeridos pela síndrome.

O caso c é idêntico ao anterior, com a diferença de que o sinal o5 é ausente, e não desconhecido. Isso provocou uma redução em GC de 80 para 70.

O mesmo tipo de análise pode ser feita em relação aos casos a e d.

Observando os resultados de GC, em cada caso, é fácil perceber o significado e a diferença entre um sinal ausente e um sinal desconhecido (como este ainda tem chance de ser confirmado como presente, não provoca atenuação em GC, isto é, redução no seu valor).

O sistema só seleciona aquelas síndromes cujo valor de GC seja  $\geq 10$ , considerando altamente improvável que, abaixo deste valor, um paciente possa ser portador dessa síndrome (ver caso g e f).

O mesmo tipo de avaliação é feito para os sinais gerais e a cada alteração do quadro do paciente, o sistema reavalia as hipóteses selecionadas atualizando o grau de certeza para cada uma delas e informando o comportamento do mesmo, indicando se GC aumentou ou diminuiu seu valor (ver figura 4.5). O grau de certeza calculado antes da reavaliação é armazenado em G1 (vide pág. 60), o que permite, ao sistema, saber se o mesmo cresce ou decresce.

A fórmula que descreve GC tenta expressar uma medida que permita ao usuário estabelecer uma relação entre o quadro do paciente e o quadro de definição de cada síndrome catalogada. Quanto maior a semelhança entre o quadro do paciente e o quadro de definição da síndrome, maior a chance de o paciente ser portador desta síndrome. A avaliação de GC é feita de modo empírico, embora se tenha conhecimento da existência de métodos oriundos de teorias estatísticas, como o método de Bayes, por exemplo [WEIS 83]. Estes formalismos

exigiam informações não disponíveis para a totalidade das síndromes catalogadas. A carência dessas estatísticas pesou na escolha do método empírico.

Além dos arquivos citados, a base de conhecimento engloba, ainda, os seguintes arquivos :

a) NOME.SIN - contém o código e nome de cada síndrome catalogada.

b) SIND.SIN - contém o código e sinônimo, quando houver, das síndromes.

c) TB.DES - contém o código e descrição sucinta de cada síndrome.

#### 4.3 A Base de Dados Global e Árvore de Menus

É composta das hipóteses intermediárias (ver página 46) com respectivos graus de certeza e dos sinais oculares e gerais coletados.

O sistema reúne, em primeiro lugar, os sinais oculares do paciente, através de questionários do tipo menu, onde o médico confirma ou não a presença do sinal no exame feito. A figura 4.1 representa a árvore de menus.

Todas as instruções necessárias à utilização são referidas no rodapé do questionário, cabendo ao usuário decidir prosseguir quando considerá-lo convenientemente preenchido. Vide figura 4.2.

Para cada campo confirmado, pelo usuário, na etapa anterior, o sistema apresenta outro questionário que especifica o campo escolhido e lista os sinais oculares pertinentes ao mesmo. Vide figura 4.3.

Os campos oculares VISAO e SEGMENTO ANTERIOR, ESCLEROTICA E MEIOS OCULARES, subdividem-se por sua vez em :

- qualidade da visão, cegueira e outros itens, para o primeiro;

- pupila, conjuntiva, córnea, íris, esclerótica, câmara anterior, cristalino e vítreo, para o segundo.

Para esses campos, o questionário obedece ao modelo da figura 4.4 e para cada um dos seus subcampos, o questionário obedece ao modelo da figura 4.3.

Após reunir, desta forma, os sinais oculares o sistema emite um sumário desses sinais de acordo com a figura 4.5.

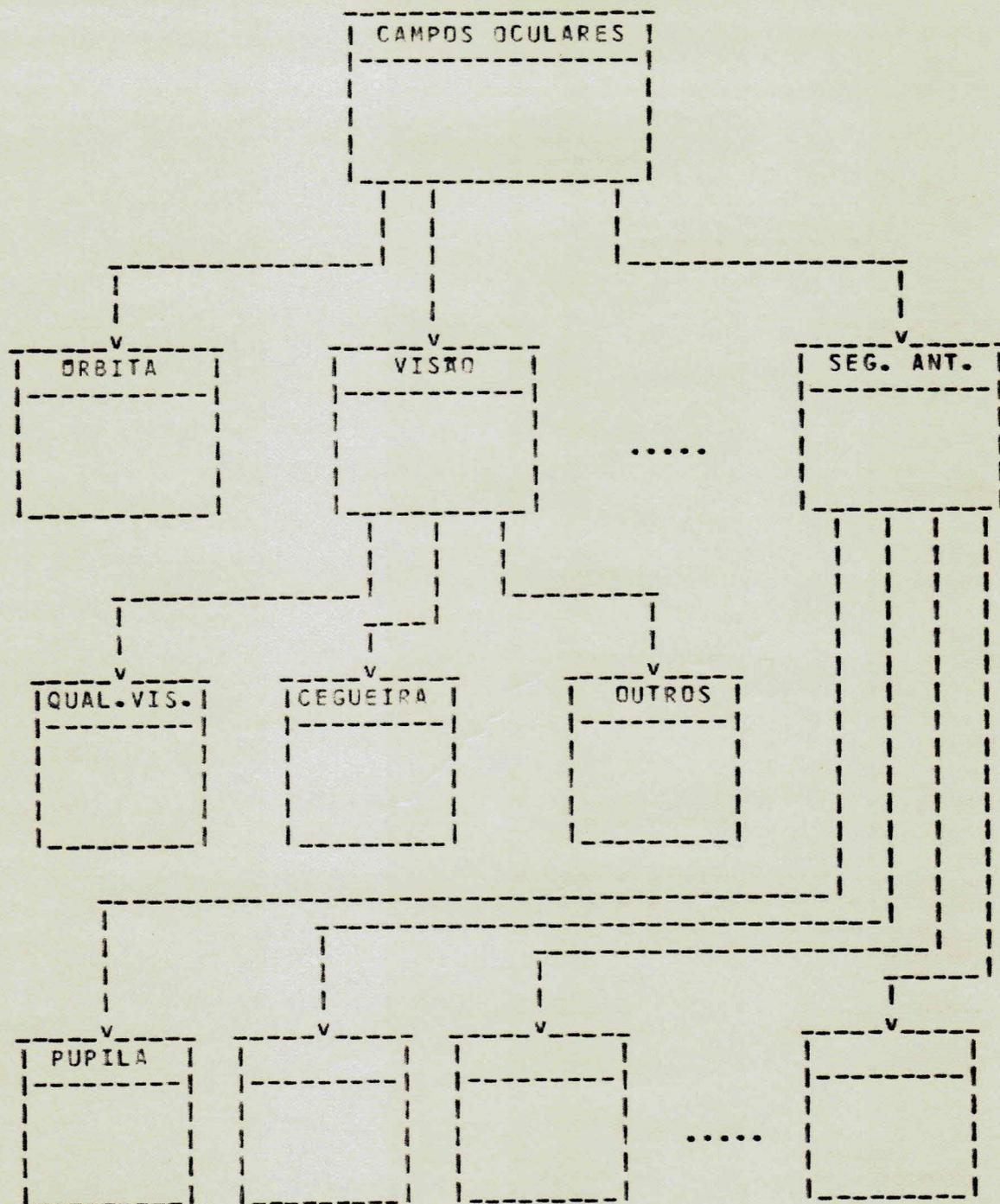


FIGURA 4.1: Árvore de menus.

CAMPOS OCULARES	
Indique os campos nos quais o paciente apresenta sinal	
=>	ORBITA PALPEBRA MOTILIDADE APARELHO LACRIMAL VISÃO CAMPO VISUAL TENSÃO INTRA-OCULAR SEG. ANT. , ESCLERÓTICA E M. OCULARES RETINA E CORÓIDE NERVO ÓPTICO
↑↓	- selecionar
X	- confirmar
C	- cancelar
S	- catálogo síndromes
CR	- prosseguir

FIGURA 4.2: Modelo de questionário para coleta de sinais oculares.

ORBITA	
Indique os sinais apresentados pelo paciente	
=>	EXOPTALMIA
	ENOFTALMIA
	ANOFTALMIA
	DORES
↑↓ - selecionar	P - positivo      N - negativo
C - cancelar	CR - prosseguir

FIGURA 4.3: Modelo de questionário para coleta de sinais em cada campo.

SEGMENTO ANTERIOR, ESCLEROTICA E MEIOS OCULARES Indique os campos nos quais o paciente apresenta sinal	
=>	PUPILA CONJUNTIVA CORNEA IRIS ESCLEROTICA CAMARA ANTERIOR CRISTALINO VITREO
↑↓ - selecionar      X - confirmar      C - cancelar ..... CR - prosseguir	

FIGURA 4.4: Discriminação dos subcampos do campo SEGMENTO ANTERIOR, ESCLEROTICA e MEIOS OCULARES.



#### 4.4 Sistema de Controle

Os sinais apresentados pelo paciente são comparados aos que definem cada síndrome, sendo calculado o grau de certeza de cada uma. As que estiverem dentro da faixa de aceitação do GC serão selecionadas.

A base de dados global, contendo informações sobre as síndromes selecionadas e seus respectivos graus de certeza, fornece estes resultados de acordo com a figura 4.6.

A figura 4.6 informa também, a cada alteração ocorrida no quadro do paciente, as influências sofridas pelo grau de certeza, dando uma idéia da "cotação" de cada hipótese naquela situação, através do sentido da seta ao lado do valor de GC. A hipótese está "em alta" (aumentando suas chances de ser confirmada) quando a seta aponta para cima e está "em baixa" (suas chances diminuíram) quando a seta aponta para baixo. Esta constatação é feita com base na comparação entre o valor de G1 (ver página 47) e o grau de certeza calculado após alteração no quadro. Na realidade este quadro exprime, de forma condensada, o diagnóstico médico firmado a partir do quadro do paciente. Pode ser solicitada a descrição de qualquer síndrome constante no quadro de hipóteses.

Os sinais gerais são pesquisados no momento em que o usuário opta por desenvolver uma das hipóteses constantes na





A cada resposta "positivo", "negativo" ou "desconhecido" (?), o sistema vai formando o quadro geral do paciente. De posse dos sinais gerais presentes no paciente, é feita uma reavaliação dos graus de certeza e os resultados são expressos, outra vez, através da figura 4.6.

Neste estágio é emitido um demonstrativo dos sinais gerais apresentados pelo paciente, versus os requeridos pela síndrome, representado na figura 4.7.

Os quadros das figuras 4.7 e 4.8 possibilitam o usuário fazer uma análise interpretativa da situação do paciente frente à determinada síndrome. Eles também sintetizam o módulo de explanação do sistema, uma vez que a explicação de porque é necessário pesquisar determinado sinal surge, naturalmente, de sua apreciação.

É permitida a alteração do quadro ocular e geral do paciente. No caso de ocorrer mudança, o sistema recalcula os graus de certeza, apenas das síndromes selecionadas, exprimindo os resultados segundo a figura 4.6. Não havendo mudança, o diagnóstico é mantido.

Ao completar o estágio de coleta dos sinais oculares é facultada ao usuário a utilização do catálogo das síndromes, permitindo que ele, ignorando o grau de certeza de cada uma, solicite o desenvolvimento de uma hipótese a seu critério. O catálogo é fornecido de acordo com a figura 4.9.



CATÁLOGO DE SÍNDROMES			
=>		DOWN	. 3
		CHARLIN	.....
		DEJEAN	
		FISHER	
		GRADENIGO	
		HARADA	
		KLINEFELTER	

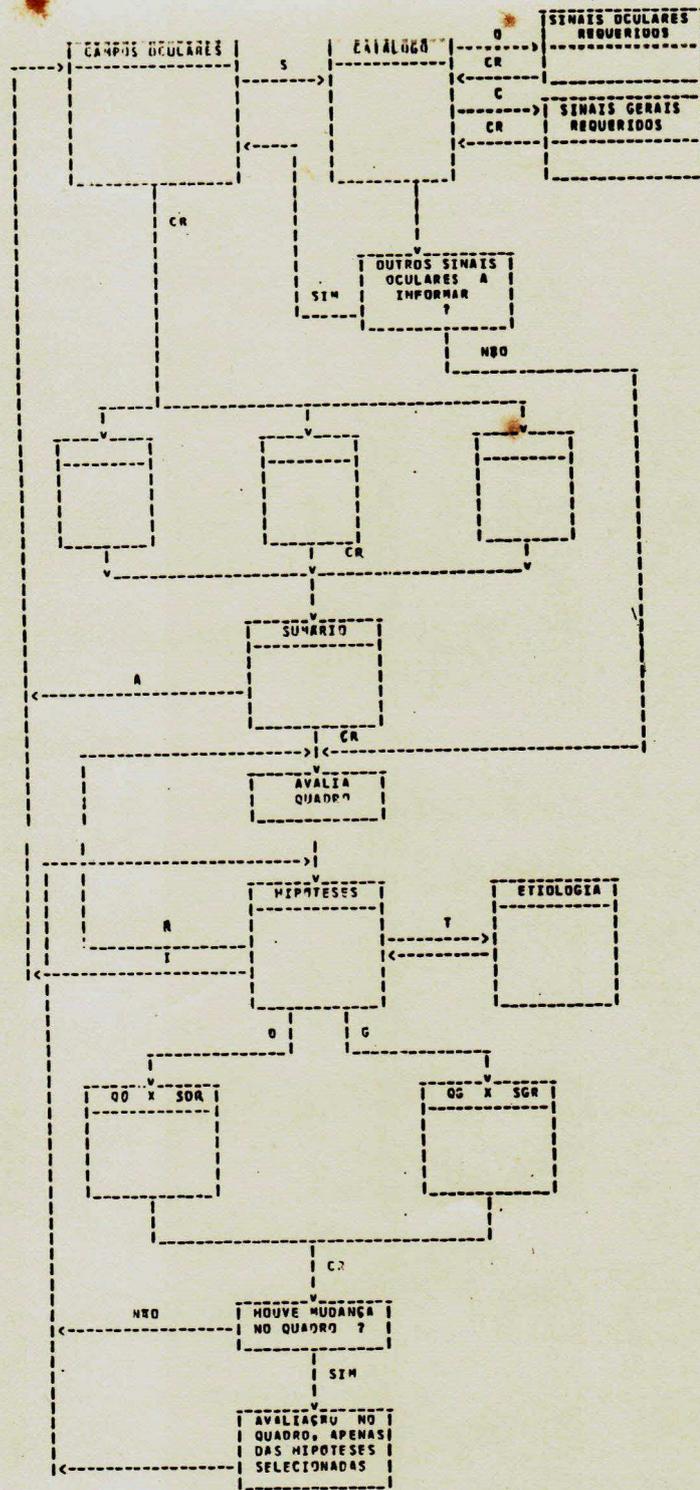
↑↓ - selecionar	D - sin. oculares	G - sin. gerais
PGU - voltar página	PGD - passar página	
S - sinônimo	CR - prosseguir	

FIGURA 4.9: Catálogo das síndromes.

Este catálogo oferece ainda a possibilidade de informar ao usuário quais os sinais oculares e gerais que definem determinada síndrome, através das opções 0 e 6, respectivamente, constantes no rodapé da figura 4.9, segundo os modelos das figuras 4.10 e 4.11. Fornece também o(s) sinônimo(s), quando houver, das síndromes catalogadas.

A figura 4.12 sintetiza o fluxo de informações do OFTALMO e expressa a relação entre as figuras 4.2 até 4.11.





SAIDA DO SISTEMA

PROCESSO

FIGURA 4.12: Fluxo de informações no OFTALMO.



## 5. CONCLUSÃO

Com a invenção da imprensa, por Gutenberg, no século XXVI, a humanidade encontrou uma forma de reter e transmitir conhecimento que lhe pareceu conveniente por quase quinhentos anos.

Embora os livros armazenem, atualmente, o mais vasto volume de conhecimento, eles apenas o retêm, disseminando-o numa forma estática. Antes de o conhecimento poder ser aplicado, o ser humano precisa recuperá-lo, interpretá-lo, memorizá-lo e decidir como explorá-lo para resolver problemas. Em áreas como a Medicina, Eletrônica, Processamento de Dados (onde o conhecimento é criado mais rápido do que possa ser analisado e compreendido por terceiros), o avanço tecnológico provocou um engarrafamento no desenvolvimento cultural. No bojo dessas modificações, o computador desempenha um papel fundamental, criando ao mesmo tempo a necessidade e a oportunidade de novas formas de armazenamento e distribuição do conhecimento.

Esta situação esboça para a Engenharia do Conhecimento e, em particular, para os Sistemas Especialistas, um rumo previsível quanto ao seu futuro : a possibilidade de aumentar o potencial individual e coletivo, através da preservação e transferência de conhecimento de maneira mais eficiente, e também da melhoria do desempenho das tarefas que demandam especialização e experiência. Com isso pensa-se justificar a validade de desenvolvimento de um

sistema computadorizado com essas características e que, certamente, contribuirá para consecução do objetivo maior da ciência : o de tornar melhor a vida do homem.

A alteração mais significativa, produzida pelos sistemas baseados em conhecimento, na filosofia de utilização de computadores, é a de tolerância a falhas. Sob o ponto de vista de programação, as tarefas tinham de ser descritas de maneira completa, não podendo ser implementadas se não podiam ser especificadas deste modo. As técnicas usadas na construção de sistemas especialistas não fazem esta exigência. Um sistema especialista não fracassará quando lhe faltarem algumas regras, ou mesmo por inconsistência entre elas ou, ainda, por necessitar de outras [STEF 82]. Podemos construí-lo com base no conhecimento disponível sem correr o risco de não vê-lo funcionar.

Isto traz, por sua vez, importantes consequências para sua implementação e uso :

- a) esses sistemas são, quase sempre, incompletos, fato que deve ser comunicado ao usuário, para que ele os utilize com a consciência de poder refutar alguns dos seus resultados e com a possibilidade de poder interferir no seu desempenho.

- b) como o conhecimento não tem limites definidos, a tarefa de desenvolver um sistema baseado em conhecimento consiste, na realidade, em desenvolver apenas um protótipo, no sentido de, dificilmente, se retornar um produto acabado.

Uma avaliação, dentro desse enfoque, do sistema DFTALMO deve ser realizada em termos de sua interação com o usuário e da sua eficiência. Salientamos como pontos positivos do mesmo : sua capacidade de diálogo com o usuário, a qualidade das decisões evidenciada nos testes aplicados, a utilização racional dos recursos de hardware, o tempo de resposta satisfatório.

Os pontos nos quais o sistema pode ser melhorado dizem respeito à base de conhecimento, com, por exemplo, a inclusão de regras do tipo D-D; e a criação de um módulo de aquisição de conhecimentos que possa permitir ao usuário uma transferência mais simples e direta de seus conhecimentos.

O processo de explanação pode ser explicitado de modo diverso do adotado, ficando a ressalva de que os quadros representados nas figuras 4.6, 4.7 e 4,8 constituem uma explicação satisfatória de como o sistema chega aos resultados.

O caráter modular do sistema permite que, se substituindo a base dos sinais oculares por outra conveniente, seja possível emitir diagnósticos de síndromes

de outra natureza. A avaliação do grau de certeza também pode ser alterada sem maior dificuldade, graças a esta mesma modularidade.

O catálogo de síndromes pode ser ampliado e utilizado, em ambientes de residência médica, com finalidade de aprendizagem.

As alterações identificadas e propostas podem ser implementadas a curto prazo, contribuindo para melhorar a performance do OFTALMO, e têm a conotação de sugestão para futuros trabalhos.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [BARR 81] BARR, A. ; FEIGENBAUM, E. "The handbook of artificial intelligence". Los Altos, William Kaufman, 1981.v.1-2.
- [BROU 84] BROUGH, D.R. ; FARFITT, N. "An expert system for the age of a domestic animal". Research Report DOC 84/13, apr. 1984.
- [CHAN 84] CHANCEY, W. ; SHORTLIFFE, E. "Readings in medical artificial intelligence - the first decade". Menlo Park, Addison-Wesley Publish Company, 1984.
- [BUCH 84] BUCHANAN, Bruce, SHORTLIFFE, Edward. "Rule-based expert systems". Menlo Park, Addison-Wesley Publish Company, 1984. 784p.
- [CHAN 83] CHANG, C. L. "An experience of buildan expert system with Prolog". Research Reports, 1983.
- [COLM 84] COLMERAUER, A. "Prolog : la langage de l'intelligence artificielle". Le Recherche (158), sept. 1984. pp 1004-1014.

- [COST 84] COSTA, Antônio Carlos Rocha da. "Caracterização dos conhecimentos e da arquitetura de um sistema especialista em projeto lógico de circuitos digitais". Porto Alegre, CPGCC-UFRGS, jun. 1984. 29p.
- [CFORS 84] FORSYTH, Richard. "Expert Systems". New York, Chapman and Hall, 1984. 231p.
- [GGEER 69] GEERAETS, Walter. "Síndromes oculares". Barcelona, Elicien, 1969. 221p.
- [GGEVA 82] GEVATER, B. W. "An overview of artificial intelligence and robotics". Washington DC, National Bureau of Standards, 1982.
- [GIOR 85] GIORNO, Fernando. "Assistentes médicos especialistas baseados em conhecimento e computador". Brasília, Centro científico IBM, Relatório técnico 28, mai. 1985. 14p.
- [HAYE 84] HAYES-ROTH, Frederik. "The knowledge-based expert system : a tutorial". Computer, sept. 1984. pp. 11-28.
- [JOHN 83] JOHNSON, P. "What kind of expert a system be ?". The Journal of Medicine and Philosophy, 1983.

v.8, pp. 77-97.

- [KAST J] KASTNER, J. K.; HONG, S. J. "A review of expert systems". North Holland, European journal of Operational Research 18, 1984. pp. 285-292.
- [MCCO 75] MCCORDUCK, P. "Machines who think". N. York, W. H. Freeman and co., 1975.
- [MICH 82] MICHIE, D. "Introductory readings in expert systems". Ney York, Gordon and Breach, 1982.
- [MDDR 82] MOORE, R. F. "Medical Ophthalmology". London, J. & A. Churchill ltda. 1982.
- [MOTO 82] MOTO-KA, T. "Fifth generation computer systems". Amsterdam, 1982.
- [MILL 82] MILLER, R. et alii. "An experimental computer-based diagnostic consultant". New England Journal of Medicine 303, 1982. pp. 468-476.
- [NAU 83] NAU, Dana. "Expert computer systems". Computer, feb. 1983, pp.63-85.
- [NILS 82] NILSSON, NILS J. "Principles of artificial intelligence". New York, Springer Verlag, 1982.

476p.

- [PASS 85] PASSOS, Emmanuel Lopes. "Sistemas especialistas".  
Micro sistemas, dez. 1985. pp. 58-62.
- [SAND 85] SANDRI, Sandra A. "Sistema Diagnóstico : uma ferramenta para a construção de sistemas especialistas". Campinas, INPE, 1985, 136p.
- [SMIT 85] SMITH, David. "Síndromes de malformações congênitas". São Paulo, Editora Manole, 1985.
- [SHOR 76] SHORTLIFFE, Edward. "Computer-based medical consultations : MYCIN". New York, 1976.
- [SELL 85] SELL, Peter. "Expert systems : a practical introduction". London, Macmillan Publishers Ltd., 1985. 99p.
- [STEF 82] STEFIK, Mark et alii. "The organization of expert systems, a tutorial". Artificial intelligence 18, 1982. pp. 135-173.
- [SZOL 82] SZOLOVITS, P. "Artificial intelligence in Medicine". Bolder, Westview Press, 1982.
- [VAUG 62] VAUGHAN, D. et alii. "General ophthalmology".

Los Altos, Lange Med. Publ., 1982.

[WARR 77] WARREN, D.H. et alii. "Prolog - the language and its implementation compared with Lisp". Notices, ang. 1987. pp. 109-115.

[WATE 85] WATERMAN, Donald. "A guide to expert systems". Menlo Park, Addison-Wesley PublishCompany, 1985. 419p.

[WEIS 84] WEISS, Sholom; KULIKOWSKI, Casimir. "A practical guide to design expert systems". Totowa, Rowman & Allanheld, 1984. 169p.

--- et alii. "A glaucoma consultation by computer". Computers in Biology and Medicine, 1978. v.1, pp. 25-40.