

# INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

## AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO SEMI-AUTOMÁTICA

\* João José Peixoto Furtado Vasco

*Este trabalho é um estudo sobre aquisição de conhecimento para sistemas especialistas, enfocando os métodos que utilizam interações com o especialista também conhecidos como métodos semi-automáticos. Numa primeira parte serão definidos conceitos básicos e técnicos utilizados na bibliografia que trata sobre aquisição de conhecimento. Numa segunda etapa algumas ferramentas serão escolhidas para uma análise de características e posterior análise crítica*

### Abstract

*This paper is a survey of know ledge acquisition in the expert system's domain. Knowledge acquisition tools with their strategies are showed and then analise of the problems and advantages. The focus major are in the interview-based knowledge acquisition tools or semi-automated tools.*

### 1. INTRODUÇÃO

Os Sistemas Baseados em Conhecimento (SBC) mais especificamente os Sistemas Especialistas (SE) são hoje o campo de maior sucesso na área de Inteligência Artificial. Inúmeras aplicações surgem dia a dia nos mais diversos setores. O domínio da tecnologia para desenvolvimento de SE's estaria quase que totalmente consolidado não fosse o *Gargalo* do processo de desenvolvimento de um SE [Fe81]: a aquisição de conhecimentos do especialista para posterior representação computável.

A aquisição de conhecimento é a tarefa que mais consome tempo no desenvolvimento de um sistema especialista. Em média de 3 a 12 meses é o tempo que se leva para o desenvolvimento de um razoável protótipo [Bo84]. As dificuldades desta fase estão desde problemas de comunicação entre o engenheiro de conhecimento e o especialista, à dificuldade de mapear conhecimento em uma forma computável devido a erros de transcrição e interpretação na formulação das regras. Além disso o engenheiro do conhecimento re-

quer um perfil difícil de ser atingido devido a uma postura eclética pois não só deve entender de técnicas de representação de conhecimento como de técnicas de comunicação, psicológicas e um certo embasamento no domínio do problema a ser resolvido. A idéia de aquisição automática de conhecimento surgiu com a finalidade de atenuar estas dificuldades para prover maior agilidade, eficiência e consequentemente redução nos custos.

Esta idéia não é de todo nova podemos dizer que desde a década de 60 se pensa em adquirir conhecimento, só que isto era estudado por um outro ramo da Inteligência Artificial o aprendizado em máquina ou aprendizado automático (*machine learning*). Aprendizado automático estuda a possibilidade de prover a máquina com potencialidades tais que possa deduzir, induzir, assimilar exemplos, analogias, enfim aprender algo para tomar atitudes que possam ser consideradas próprias.

Boose [Bo88a] propõe uma divisão dos métodos de aquisição de conhecimento em dois: métodos cogni-

\* Mestrando em Inteligência Artificial pela UFPB e professor em licença da Universidade de Fortaleza.

tivos e métodos automáticos. Os métodos automáticos por sua vez dividem-se em: baseados em entrevistas (semi-automatizados) e baseados em aprendizado automático.

O enfoque principal deste trabalho será dado nos métodos de aquisição automática de conhecimento centrados em entrevistas com os especialistas, e a partir de agora, quando nos referenciarmos a aquisição de conhecimento estaremos falando de aquisição automática de conhecimento. Seguindo a taxonomia definida por [CFM 91] os métodos semi-automatizados são considerados de aprendizado automático por instrução, que se caracterizam pela existência de um instrutor intermediando o processo de aquisição, ou seja, de aprendizado. Nestas ferramentas a idéia é que o *instrutor* seja o próprio software abolindo totalmente ou diminuindo a interferência e a necessidade do engenheiro do conhecimento.

Este estudo começa analisando, na seção 2, as dificuldades que envolvem a aquisição de conhecimento, e conseqüentemente a tarefa de automatizá-la. Na seção 3, introduziremos primeiro, conceitos de classes de Sistemas Baseados em Conhecimento e segundo, conceitos de tipos de conhecimento que normalmente um especialista apresenta e que podem influenciar a técnica de aquisição adotada. Na seção 4 faremos definições das principais técnicas automáticas de aquisição de conhecimento, que serão referenciadas na seção 5, onde analisaremos algumas ferramentas de aquisição de conhecimento automáticas. Finalizaremos, na seção 6, analisando tendências de ferramentas, técnicas e ambientes que, ao nosso ver, surgirão.

## 2. A DIFICULDADE DA AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO

A dificuldade da aquisição de conhecimento pode ser encarada por diferentes perspectivas. Primeiro, devemos compreender que a atividade de adquirir conhecimento é uma tarefa de modelagem e não uma simples translação de conhecimentos dentro de programas. As abstrações e distinções necessárias para construir modelos podem não ser totalmente previstas ou não ser totalmente precisas, alie-se a isto o fato de que existe sempre dificuldades em se implementar mecanicamente modelos. Isto nos leva ao conhecido problema da *representação errada* (*representation mismatch*) gerado pelo gap semântico entre o mundo real e o conhecimento operacionalizado.

Uma outra perspectiva pode nos mostrar a dificuldade de aquisição de conhecimento relacionada com as peculiaridades ou formas diversas do conhecimento humano, principalmente no que se refere ao *conhecimento semântico ou tácito* que é um conhecimento baseado em experiências e difícil de expressar.

Outros dois incômodos e determinantes problemas devem ser considerados: a *indeterminação* que surge quando na especificação das associações entre eventos, o especialista se expressa vagamente sobre a natureza dessas associações e a *incompleteza* que pode ser examinadas por dois ângulos diferentes pois pode acontecer quando o especialista deixa de especificar alguma parte do conhecimento, ou por que o conhecimento do especialista não cobre completamente o assunto em questão. O problema da indeterminação reflete o fato de que normalmente os especialistas não conversam sobre associações de eventos em um caminho que precisamente seja o adequado na resolução daquele problema. Embora o especialista possa ser encorajado ou guiado para ser o mais específico possível, um sistema de aquisição de conhecimento de ser hábil para tolerar ambiguidades e indeterminações. A incompleteza força o sistema a identificar conhecimentos que estão faltando ou incompletos e incrementalmente adicioná-las a base de conhecimento, percebendo sempre a natureza quase que infinita do conhecimento sobre um determinado domínio de problema, pois é muito difícil precisar o total de conhecimento de um dado domínio.

## 3. CLASSES DE SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO E CATEGORIAS DE CONHECIMENTO

Examinaremos agora duas básicas taxonomias que são fundamentais para sistemas baseados em conhecimento e principalmente para sistemas de aquisição de conhecimento: os tipos de problema e os tipos de conhecimento que estes problemas envolvem.

### 3.1. Classes de problemas

As metodologias que as pessoas humanas utilizam para resolver problemas, bem como o seu processo de resolução são dependentes do tipo de problema que elas enfrentam. Conseqüentemente os sistemas baseados em conhecimento seguem a mesma filosofia deteminando a formação de classes de problemas.

### ANÁLISE x SÍNTESE

Podemos inicialmente dividir as classes de problemas em 3 grupos básicos: são os problemas resolvidos por análise, os problemas resolvidos por síntese e um grupo híbrido que possuiria características comuns a análise e síntese. Os problemas de análise possuem procedimentos para responder perguntas e calcular respostas que sejam interpretações ou classificações de alguns objetos ou sintomas, e que pertencem a um conjunto de soluções pré-determinadas. Nos problemas de síntese a solução não é achada em um conjunto de soluções mas construída por componentes. A figura 1

mostra a relação entre as classes de problemas e algumas ferramentas de aquisição de conhecimento, bem como as estratégias de resolução de problemas que adotam. Os termos classificação heurística para problemas de análise e construção heurística para síntese, são tipos de tarefas genéticas, que discutiremos com mais detalhe na seção 4.

Os problemas de análise dividem-se em:

### 3.1.1. Interpretação

Onde dados são analisados para determinação de seu significado. Um exemplo pioneiro e bem difundido é o DENDRAL [BF78] que analisa espectogramas de massa moleculares e interpreta-os determinando as estruturas químicas das moléculas.

### 3.1.2. Diagnóstico

Neste tipo de problemas falhas ou conclusões são diagnosticadas dado um conjunto de sintomas. Os maiores exemplos se encontram na área médica como o MYCIN [BS84].

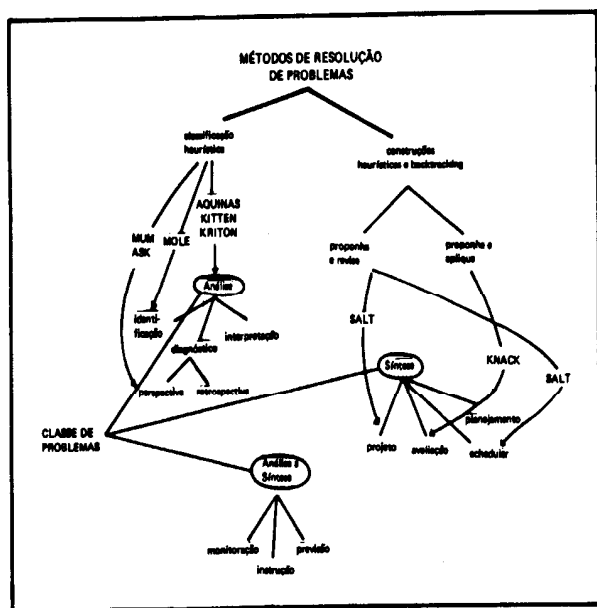


Figura 1: Tipos de problemas e ferramentas associadas

Consequentemente um diagnóstico com prescrições inteligentes. Em cada ponto do workup.

### 3.1.3. Classificação/Identificação

Tarefas em que objetos físicos ou abstratos são categorizados baseados em observações, ou seja classificados.

Já os problemas que são resolvidos por síntese subdividem-se em:

### 3.1.4. Planejamento (Planning)

Onde uma sequência de ações é determinada com um certo encadeamento para alcançar um objetivo. Os

melhores exemplos estão na robótica com sistema de planejamento para operações com robôs [FN71].

### 3.1.5. Projeto (Design)/Configuração

São problemas nos quais especificações de objetos são desenvolvidas para satisfazer algum conjunto de necessidades. Um exemplo esta na área de configuração de computadores com R1 [Mc80].

Vale ressaltar a existência de problemas que seriam um misto dos grupos apresentados ou seja os híbridos, como os problemas de: monitoração, previsão e instrução.

## 3.2. Categorias de Conhecimento

Perceber que tipos de conhecimentos envolvem um dado problema é essencial para a tarefa de aquisição de conhecimento. A forma de adquirir, representar e acessar os conhecimentos podem variar para cada tipo. Além disto percebemos que existe uma enorme variedade de nomenclaturas definindo tipos de conhecimento e que muitas vezes chegam a ser inconsistentes. O principal ponto que deve ser focado é a necessidade de se definir conhecimento em um nível conceitual (*knowledge level*, [Ne82]) independente da forma como simbolicamente ele pode ser representado. Este enfoque vai de encontro a nomenclatura, talvez mais utilizada, que define dois tipos de conhecimento o declarativo e o procedural, pois ela provoca distorções ao se confundir com a forma de representar o conhecimento que não é obrigatoriamente correspondente (é muito normal representação declarativa para conhecimento "procedural"). Desta forma optamos por definir uma taxonomia própria, como mostra a figura 2, e definida a seguir:

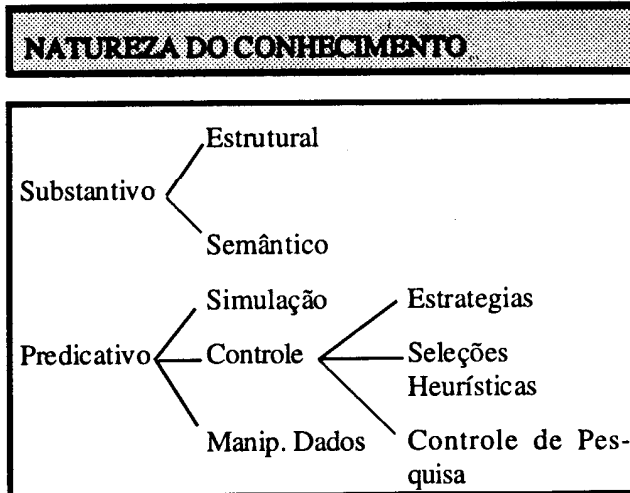


Figura 2

3.2.1. Conhecimento substantivo: é o "conhecimento do que". Conhecimento substantivo é extremamente útil no início do processo de aquisição. Pode ser dividido em:

- a) Conhecimento estrutural: Representa conhecimento superficial que o especialista ou até um não especialista pode verbalizar.
- b) Conhecimento semântico: é de natureza mais profunda. Reflete a organização e a representação do conhecimento. É de vital importância para fazer com que um sistema realmente emule o trabalho de um especialista, pois inclui conceitos, fatos, definições e relações sobre os fatos.

3.2.2. Conhecimento de ações ou predicativo: é o "conhecimento do como". Normalmente é mais complexo de ser adquirido devido a maior dificuldade de expressá-lo. Um exemplo desta dificuldade é se pensarmos em descrever como guiamos uma bicicleta. Os conhecimentos estão sequenciados e diferenciar cada passo que o compõe pode ser complicado. Além disso alguns procedimentos são resolvidos por "senso comum ou bom senso" [M 185] que são idéias práticas amadurecidas que passam a ser normalmente aceitas e usadas como verdade, sendo portanto difícil explicitá-las. Divide-se em:

- a) Simulação: uma modelagem de ações é feita quando um dado operador é hipoteticamente aplicado.
- b) Controle: refere-se a conhecimento usado para decidir o que fazer depois; pode ser:
  - b.1) Estratégico: É um importantíssimo tipo de conhecimento para sistemas especialistas, refere-se a conhecimento utilizado por um agente para decidir o que fazer depois, onde ações tem consequências para este agente. Um robô utiliza conhecimento estratégico para decidir se passa sobre ou em tomo de um obstáculo. Conhecimento estratégico é definido em um nível mais conceitual sem referência a um nível simbólico.
  - b.2) Seleções heurísticas: são usadas para escolher entre alternativas que competem entre si durante o processo de resolução do problema. São os típicos casos de resolução de conflitos.
  - b.3) Controle de pesquisa: são controles utilizados para restringir o espaço de busca de uma solução. Conhecimento de controle para restrição de pesquisa pode em alguns casos (situações onde pode-se modelar todo o conjunto de consequências de ações) ser utilizado como conhecimento estratégico;
- c) Manipulação de dados: procedimentos de manipulação de dados analisam informações já existentes na base de conhecimento para

estendê-la ou corrigi-la. Normalmente são regras que checam a completeza e consistência da base de conhecimento. Um exemplo são procedimentos que calculam propriedades de componentes a partir de outros.

Uma boa ferramenta de aquisição de conhecimento deve prover condições para explorar os tipos de conhecimento citados anteriormente.

#### 4. TÉCNICAS DE AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO

Analisaremos agora as principais técnicas que são utilizadas nos sistemas de aquisição de conhecimento semi-automáticos. Lembramos que embora as técnicas a seguir possam ser utilizadas por meios manuais, o nosso enfoque será somente na forma automatizada de aplicá-las.

##### 4.1. Entrevistas

Um dos mais importantes e utilizados métodos de aquisição de conhecimento são as entrevistas [GY 88]. As entrevistas são feitas com perguntas ao especialista sobre importantes conceitos do domínio do problema e a partir de então o especialista é levado a expandir o seu raciocínio. A forma de aplicação da entrevista é inerente a forma de como os conhecimentos são representados mas principalmente ao método de resolução do problema (problem solving) que estabelece e controla sequência de ações requeridas para realizar a tarefa. Por exemplo, para as construções formadas pela rede de repertório [Ke 55] as perguntas são direcionadas para encontrar similaridades e diferenças entre objetos, depois são feitas questões a partir de tratamento estatístico dado as construções. No modelo de causa e efeito [KNM85] o decorrer da entrevista é seguido com questões que sigam as estratégias de diferenciação de sintomas ou seja encontrar condições interferidoras no sintoma que afetem uma dada hipótese. As entrevistas são mais adequadas para aquisição de conhecimento substantivo, sendo normalmente utilizadas no início do processo de aquisição. Existem trabalhos que procuram generalizar o processo de entrevista, isto é, deixá-lo independente do domínio do problema. A idéia é identificar estratégias primitivas que direcionam o processo. Um exemplo é SIS [KMYK87] um shell para sistemas de entrevistas.

##### 4.1.1 Laddering

O laddering é um tipo de entrevista voltado para identificar conhecimentos estruturados de uma forma hierárquica. Questões sobre supertipos e instâncias de conceitos genéricos são realizadas com a finalidade de derivar uma estrutura taxonômica que possua objetos ligados por relações de superordenação e subordinação.

Perguntas do tipo *porque você fez isto?* desenvolvem relações de superordenação e perguntas tipo *como você faz isto?* levam a relações de subordinações. Movendo-se em direção das superordenações atinge-se relações ou objetos mais genéricos, já as relações de subordinações levam a especificidade.

#### 4.2. Teoria das Construções Pessoais (PCP)

A Teoria das Construções Pessoais (*Personal Constructs Psychology*) não é propriamente uma técnica mas fundamenta a da Rede de Repertório. A PCP é uma teoria sistemática desenvolvida por George Kelly [Ke55] e que baseia-se em distinções de dicotomias para conhecimento de coisas ou seja aprendizagem. O fundamento básico da teoria são as construções que são modelos abstratos que o homem cria e então os usa para compreender a realidade do mundo. Kelly propõe que toda atividade humana possa ser vista como um processo de antecipação do futuro por construções de eventos. Uma construção é definida como uma escala interna bipolar a qual produz as diferenças e similaridades do conjunto de elementos envolvidos. Esta teoria foi desenvolvida dentro de um contexto clínico psicológico e portanto tencionada a ultrapassar as defesas cognitivas das pessoas, o que nos leva a principal vantagem desta teoria para a aquisição de conhecimento que é a possibilidade de implementar uma técnica que tenha por base uma forte fundamentação teórica. Outra grande vantagem da PCP é que ela possibilita a obtenção de conhecimento em formato estruturado, reduzindo significadamente, o tempo requerido em análises além de possibilitar o uso de estatísticas nesses conhecimentos. O formalismo utilizado para representar a teoria PCP é a rede de repertório.

##### 4.2.1. Rede de Repertório

O mapeamento dos elementos dentro de construções produz uma rede bi-dimensional chamada Rede de Repertório (*Repertory Grid*). Esta rede tem duas polaridades com elementos concretos ou abstratos que definem uma área, assunto ou característica de um evento. Cada elemento é definido na rede com seu equivalente contraste, formando assim uma construção. Rede de Repertório tem sido fortemente usado: em psicologia [SW 82]; para estudar processos de aquisição de conhecimento na educação [PS81]; e para estudar decisões gerenciais feitas individualmente e em grupo [Sh80]. As redes de repertório são adequadas para obtenção de conhecimento substantivo.

##### 4.2.2. Como Obter as Construções?

A maneira mais comum é o método da triade ou eliciação tripla. Os elementos são apresentados em grupos de três e então o entrevistado é perguntado sobre similaridades que dois dos elementos tenham e o terceiro não possua. Por exemplo: Suponham três livros

L1.L2 e L3 os livros L1 e L2 foram escritos por vários autores, enquanto o livro L3 somente por um autor. Uma segunda construção é tentada por eliciação de outra triade por exemplo L2, L3 e L4 e assim sistematicamente. É importante ressaltar que as características dos elementos que compõem a construção não são obrigatoriamente concretas podendo ser por exemplo considerações sobre a facilidade de leitura do livro ou se ele é teórico ou prático. A escolha de que características usar depende exclusivamente do grau de importância dado pela pessoa que está construindo a rede. Não é obrigatório a utilização de grupo com três elementos, mas o crescimento deste número pode trazer dificuldades para o especialista especificar as características.

1	1	2	3	4	5	6	7	5
baixo retorno invest.	5	1	1	5	5	3	1	alto ret. investimento
domínio amplo	5	1	1	2	1	5	5	domínio amplo
complexidade baixa	5	1	1	3	3	5	1	complexidade alta
especialista disp.	5	1	1	1	1	5	1	especial.não disp.
prototipo de SE	5	3	3	1	1	5	2	não prot. de SE

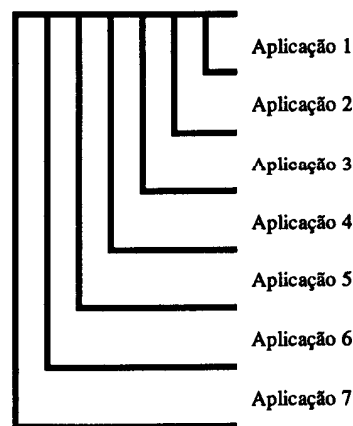


Figura 3: Rede de repertório com escolas

##### 4.2.3. Colocando Escalas

As características dos elementos que compõem a rede de repertório podem ser pontuadas por escalas que permitem mais distinção entre os pares, pois distribuem-se as características mais fidedignamente. As escalas são úteis porque não forçam ao usuário (especialista) a escolher um pólo que pode ser uma opção extremada. As escalas tem valores absolutos que normalmente variam de 1 a 5. No entanto as escalas devem ser usadas com muito critério pois podem levar o espe-

cialista a uma cômoda posição de indefinição optando sempre por meios termos. Cabe ao sistema guiar o especialista para escolhas as mais seguras e determinadas possíveis. Podemos visualizar esta estrutura de rede como um modelo de entidades e relacionamentos [Ch80] onde os elementos seriam as entidades, as construções os atributos e a alocação dos elementos aos pólos das construções como os valores. A figura 3 mostra um exemplo de rede de repertório com escalas.

#### 4.2.4 Como a rede é analisada

Após a construção da rede, é feita uma análise das implicações que as características, considerando as semelhanças e diferenças, podem causar. Tomando como exemplo a rede de repertório da figura 3 pode-se chegar a conclusão que complexidade alta implica não protótipo de SE (ou seja não é interessante fazer protótipo de aplicação com alta complexidade). Estas implicações são feitas baseadas em algoritmos que definem funções da relação que as escalas dos elementos apresentam (na seção 6 alguns algoritmos serão citados).

#### 4.3. Análise de Protocolo

A análise de protocolo é a técnica que visa automatizar ou semi- automatizar análises de pensamentos em voz-alta do protocolo de resolução do problema pelo especialista. O resultado da análise de protocolo pode ser considerado como um caminho através de sucessivos estados do conhecimento representando a sequência de resolução do problema.

Desde algum tempo se fala em automatização de análise de protocolo, mas pouco foi feito. Uma técnica consistente está em [KK84] que se apóia em uma descrição estrutural de um domínio de problema e uma qualitativa simulação das transições dos estados do conhecimento durante o processo de resolução do problema. Uma linguagem restrita é usada para preencher segmentos incompletos do protocolo. O outra estratégia é usada em [DRM88] onde a análise é feita em segmentos determinados pela pausa da voz do especialista e alguns já obtidos conceitos sobre o domínio do problema são pesquisados no protocolo para serem examinadas quanto a: relações ordinárias ( $A \text{ menor que } B \text{ ou } X \text{ igual a } Y$ ) e tendências ( $O \text{ estado de } X \text{ é estável}$ ). Existem pelo menos três grandes dificuldades a serem vencidas na implantação de análise de protocolo automático, quais sejam: a dependência da qualidade da gravação e posteriormente da transcrição do protocolo, isto impossibilita a eliminação de intermediários entre o especialista e o sistema; a distinção entre conhecimentos ou passos informados pelo especialista de *ruidos* (informações não importantes) no protocolo (normalmente o conhecimento relevante não é logo pronunciado pelo especialista); o especialista pode ultrapassar alguns, as vezes, nem tão essenciais passos de inferências que se não afetam a eficácia do futuro sistema especialista pelo menos o farão perder em explanabilidade.

A análise de protocolo é uma técnica particularmente adequada para obtenção de conhecimento preditivo.

#### 4.4. Análise de Textos

A engenharia do conhecimento recomenda que ao iniciar o processo de aquisição de conhecimento o engenheiro dirija-se a documentos sobre o problema em questão, para ambientar-se com o mesmo. Isto normalmente leva muito tempo. A idéia de automatizar análise de textos objetiva diminuir este tempo. As informações obtidas da análise de textos devem ser usadas como primeiro alimentador de um modelo do domínio do problema, que pode ser desde uma rede de repertório como um modelo de causas e efeitos, servindo de direcionador de futuras outras técnicas para refinamento do modelo. É importante frisar que os objetos selecionados para a análise devem ser atestados pelo especialista como fidedignos sobre o assunto em questão. Exemplos de trabalhos utilizando análise de textos são: [NKD83] com análise de manuais de hardware pelo modelo de ações-evento e [FRR83] que usam DRT (representação estruturada de discursos) como o nível intermediário entre a linguagem natural e os dados básicos.

### 5. FERRAMENTAS PARA AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO

Analisaremos agora duas ferramentas semi-automáticas para aquisição de conhecimento, que foram escolhidas para exemplificar como as técnicas anteriormente citadas estão sendo implementadas. A primeira ferramenta destina-se a problemas de análise e a segunda a problemas de síntese. (Para informações sobre outros tipos de ferramenta ver [Va91]).

#### 5.1. Aquinas

O AQUINAS [BB88] surgiu como extensão do ETS (Expert Transfer System) e apresenta-se como um exemplo de sistema de suporte ao conhecimento. A congregação de várias técnicas e ferramentas de aquisição de conhecimento é o que o caracteriza.

##### 5.1.1. Método/Funções A arquitetura de AQUINAS é vista na figura 4 com as principais funções que serão descritas a seguir:

- a) Possui um gerenciador de diálogo (dialog manager) que é o interface entre o usuário e o sistema. Neste nível é selecionada a melhor estratégia para resolução do problema baseado nas características do problema em questão. O usuário numa sessão com o AQUINAS pode também ser guiado pelo gerenciador de diálogo em diferentes níveis de assistência dependendo do grau de maturi-

dade do usuário; Uma interessante característica do gerenciador de diálogo é que ele tem a capacidade de "aprender", isto é feito guardando-se um histórico de como o usuário se comporta em uma sessão de uso do AQUINAS, e quando posteriormente o usuário volta a acessar o sistema o gerenciador se comporta de uma maneira similar às consultas anteriores, realizando algumas tarefas automaticamente;

- b) Obtém conhecimento utilizando rede de repertórios baseados na teoria PCP. As escalas de pontuação ordinárias originais da teoria PCP podem ser convertidos em valores nominais das características ou intervalos;

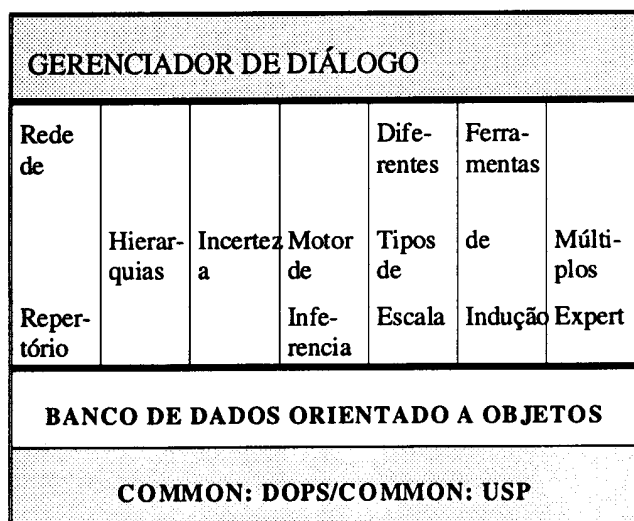


Figura 4: Arquitetura de AQUINAS

- c) Utilização de conhecimento estruturado hierarquicamente. Permite ao especialista quebrar problemas complexos em porções de tamanho conveniente e com similares níveis de abstração. As relações hierárquicas são construídas a partir de sugestões do próprio AQUINAS, que utiliza-se do método de ligações simples baseadas em FOCUS [SG 88], para identificar quais características pertencentes a uma determinada rede pode ser agrupada. Por exemplo a Figura 5 mostra uma rede contendo elementos que representam ferramentas de banco de dados que são agrupadas por AQUINAS (Figura 6) gerando uma nova estrutura para os elementos. Como se vê na Figura as características agora se apresentam de uma forma hierárquica agru-

padados pelo fato de serem linguagens de quarta geração ou linguagens de banco de dados tradicionais. As classes de hierarquias suportadas são:

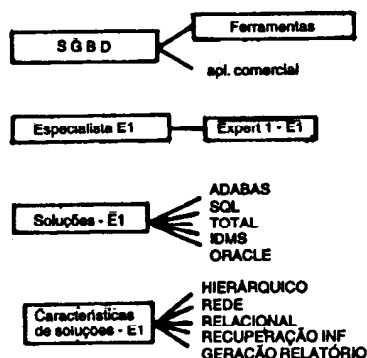


Figura 5: Níveis hierárquicos para classificação de um BD

- c.1) hierarquias de soluções: onde soluções são agrupadas em hierarquia. Esta estrutura auxilia o especialista a organizar o largo nº de soluções que podem existir em diferentes níveis de abstração. (No exemplo da figura 7; SQL, ORACLE, etc);
- c.2) hierarquias de características: onde características de um nível particular são estruturadas hierarquicamente. (Hierárquico, Relacional, etc);
- c.3) hierarquia de especialistas: onde cada nó da hierarquia pode representar um individual, um pedaço de um individual, um grupo ou uma independente fonte de conhecimento. (Especialista E1 e E2);
- c.4) hierarquia de casos: onde são definidos subconjuntos de conhecimentos apropriados a resolver uma determinada classe do problema ou seja um ou mais casos.

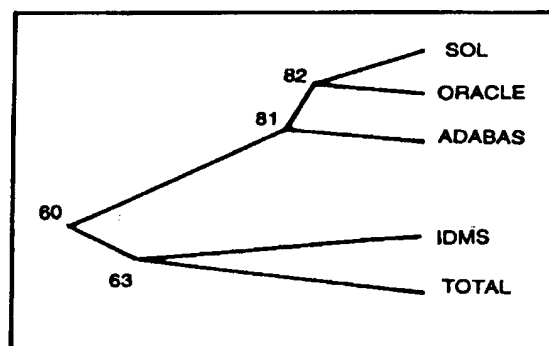


Figura 6: Agrupamento de características em AQUINAS

AQUINAS também utiliza *laddering* para obtenção de conhecimento em diferentes níveis. Por exemplo, uma questão que pergunta *qual a nova característica que explique por que você acha que BOM- AMBIENTE-DESENVOLVIMENTO deve ser verdade para uma LINGUAGEM de AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO?* resposta: **DESENVOLVIMENTO - MAIS RÁPIDO**. Ou então perguntas tipo como *uma linguagem para Aquisição de conhecimento ser caracterizado como LARGAMENTE-DISPONÍVEL?* resposta: **RODA EM VÁRIOS HARDWARES, MUITAS COMPANHIAS VENDEM, ALGUNS**

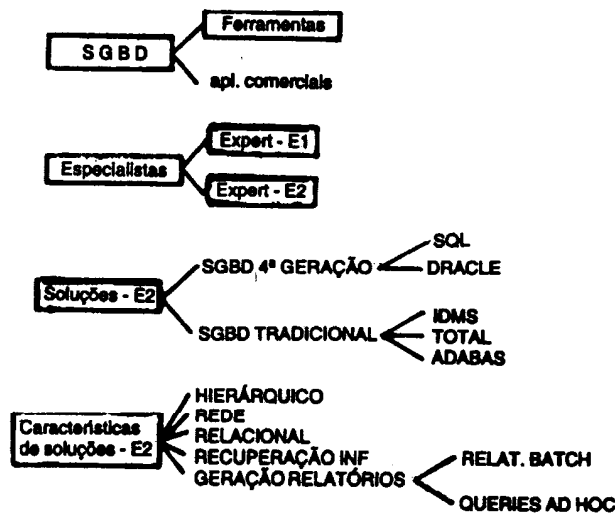


Figura 7: Níveis hierárquicos em AQUINAS

## COMPILADORES DISPONÍVEIS

Os conhecimentos dos vários níveis hierárquicos são combinados quanto a seus valores de escala em cada nível chegando a uma solução conjunta;

d) Combinação de métodos de tratamento de incerteza podendo-se utilizar três tipos de raciocínio e combiná-los;

d.1) raciocínio absoluto: são restrições seguras e que não envolvem incertezas.

d.2) raciocínio relativo: onde decisões são pontuadas com graus de segurança ou certeza. Em AQUINAS são aceitos métodos como fatores de certeza tipo

MYCIN [Ad85], lógica difusa [GS85] e processo de hierarquia analítica (AHP) que são esquemas para organizar relações entre elementos e medir suas mútuas influências em comparações aos pares [Sa80];

d.3) raciocínio probabilístico: onde propagações de informações probabilísticas é feita para discretas distribuições na rede de repertórios. Este tipo de raciocínio é implementado apenas parcialmente;

e) Expansão da base de conhecimento com uma análise das implicações entre os valores das características. Isto é feito por um método tipo ENTAIL [GS85]. Implicações são relações de similaridade entre pontuações de características na rede de repertório. Após a análise o especialista pode interferir nos novos conhecimentos surgidos pelas implicações validando-os ou não;

f) Refinamento da base de conhecimento onde se pode sugerir a deleção de características depois de analisada a base de conhecimento em um processo similar a simplificação de tabelas de decisão [Mi78] e árvores de decisão [Qu83]. Utilização de técnicas de aprendizado automático como aprendizado por exemplos (seletiva indução numa rede de mais baixo nível para derivar uma de mais alto nível), deduções (uso de hereditariedade), analogias (derivação de valores baseados em similaridades de características) e observação (construtiva indução baseada em análise de grupos);

g) Vários tipos de dados podem ser usados para representar características de elementos. Algumas características não são adequadas para serem tipificadas em pares de semelhança e contraste e há outras que a escala de 1 a 5 não é satisfatória como discriminador. A idéia é dar mais flexibilidade a definição de características com possibilidade de se transformar escalas de 1 a 5 em valores nominais aproximados ou alocar dentro de intervalos predefinidos pelo especialista. Por exemplo em um sistema de consultoria em sistemas gerenciadores de banco de dados uma característica importante seria em que tipo de computador o gerenciador funciona. Seria assim necessário várias construções para re-presentar estes conhecimentos como: *roda em VAX/não roda em VAX, roda em IBM/não roda em IBM, etc.* Com tipos de dados nominais este problema é resolvido pois os tipos de computadores fariam parte de uma característica nominal TIPO DE COMPUTADOR, que conteria VAX, IBM, UNISYS, etc.



- h) Geração de regras para shell's de sistemas especialistas como KS/300/EMYCIN, KEE, M.1, OPS5, S.1 e outros. O conhecimento contido nas redes de repertório são convertidos em regras. São 4 (quatro) os tipos de regras geradas:
  - h.1) regras de implicação que concluem sobre uma particular característica. Os fatores de certeza das regras são proporcionais a força da implicação;
  - h.2) regras de solução que concluem sobre uma particular classe de solução. Os fatores de certeza são derivados da combinação da força das escalas da rede com o peso das características;
  - h.3) regras absolutas que são regras de restrições absolutas;
  - h.4) regras de especialização e generalização que são advindas de informações hierárquicas e são usadas para propagá-las;
- i) Teste da base de conhecimento é feito numa máquina de inferência própria de AQUINAS.

### 5.1.2. Roteiro

Uma típica sequência de passos realizada por AQUINAS é o seguinte:

- a) Obtém casos e uma rede de repertório inicial com soluções, características e valores;
- b) Analisa e expande a rede inicial;
- c) Testa o conhecimento de uma rede de repertório simples, utilizando consultas em cima dos conhecimentos existentes;
- d) Constroi hierarquias, caso o problema seja mais complexo;
- e) Usa diferentes tipos de dados para especificar os valores das características, transformando valores ordinais em valores nominais ou intervalos de valores;
- f) Testa o conhecimento hierárquico; adiciona, analisa e testa conhecimento de outros especialistas se houverem para a aplicação;
- g) Se múltiplos especialistas são usados, analisa as similaridades e diferenças entre os mesmos; conduz a uma solução negociada entre os especialistas [Bo86a];
- h) Edita, analisa e refina a base de conhecimento, construindo novos casos;
- i) Testa sucessivamente a base de conhecimento para ver se os resultados estão de acordo com o que o especialista considera correto.

### 5.1.3. Análise Crítica

AQUINAS é um ótimo exemplo de sistema de suporte ao conhecimento. A variedade de ferramentas

que o compõe, lhe proporcionam enorme flexibilidade e potência. Seus pontos fortes são a utilização do conhecimento de uma forma estruturada hierarquicamente e o aperfeiçoamento da técnica de rede de repertório. Seus pontos fracos são o distanciamento cada vez maior da possibilidade de se eliminar o engenheiro do conhecimento devido a complexidade do software, a não aplicabilidade para a classe de problemas de síntese e a falta de técnicas para obtenção de conhecimento predicativo.

### 5.2. Salt

SALT [Ma88] é uma das poucas ferramentas de aquisição de conhecimento que se destinam a problemas construtivos ou de síntese em oposição a grande maioria que se destina a problemas de análise. SALT é

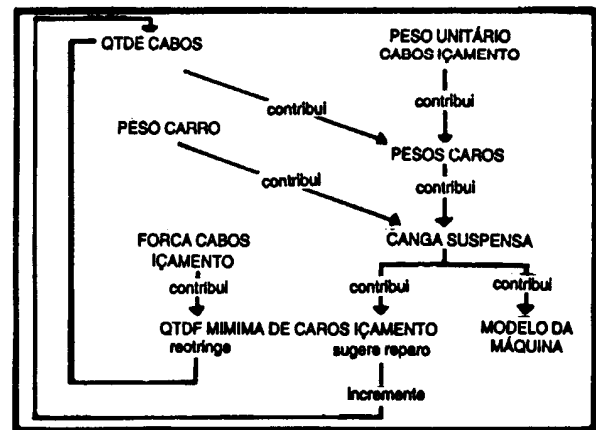


Figura 8: Representação de um reparo a uma restrição

originário de um sistema especialista para configuração de elevadores que depois foi ganhando forma mais genérica para aplicação em outros domínios como a de um *schedulerem* uma linha de produção. O método de resolução é baseado em backtracking com

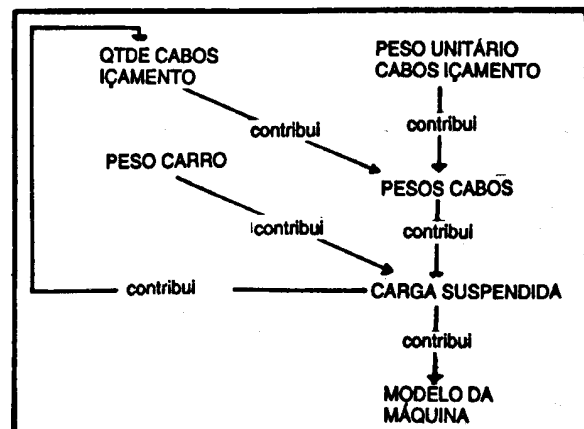


Figura 9: Conhecimento sobre configuração de elevadores

uma estratégia que guia o processo chamada *proponha-e-revise* (propose-and-revise) onde elementos são gera-

dos a partir de procedimentos proponha e testados com relação a restrições que controlam a expansão do processo de busca da solução. As restrições são alimentadas pelo usuário mas o sistema auxilia esta alimentação identificando pontos em que elas se fazem necessário. Consideremos a Figura 8 que identifica uma rede de dependência que é usada por SALT para representação de conhecimento. A rede citada possui um loop, visto que há uma contribuição recíproca entre quantidade de cabos içamento e a carga suspensa. SALT identifica o problema e solicita ao usuário que ele seja reparado. O resultado desta situação pode ser visto na Figura 9 que mostra a rede de dependências com uma restrição representada (quantidade mínima de cabos de içamento), que impede o loop, e também com um reparo caso uma restrição tente ser violada. Quando uma restrição é violada um mecanismo de backtracking é acionado para tentar validar outra opção a partir da restrição, além de serem acionados procedimentos *revise* que procurará remediar o problema modificando valores dos elementos para que não mais violem as restrições estabelecidas. SALT representa os procedimentos em uma rede de dependência que relaciona os elementos envolvidos com suas dependências de outras informações.

### 5.2.1. Método/Funções

SALT se baseia em 3 funções básicas em forma de procedimentos, representados na Figura 10, e descritos a seguir são:

- Procedimentos para PROPOR a EXTENSÃO de conhecimento, em que valores para cada pedaço do conhecimento que solucionará o problema são especificados. Estes procedimentos podem determinar um valor absoluto, constantes, ou podem direcionar para uma alternativa como acessos a bancos de dados e fórmulas de cálculo;

PROCEDIMENTO EM SALT		
PROPOR EXTENSÃO	DEFINIR RESTRIÇÃO	PROPOR REPARO
1 - Nome: CARGA-SUPENSA 2 - Tipo restrição: ATUAL 3 - Procedura: CÁLCULO 4 - Fórmula: PESO-CABO + PESO-CABO	1 - Nome: QTDE-CABOS-SUPENSA 2 - Precondição: NENHUMA 3 - Procedura: CÁLCULO 4 - FÓRMULA: 3  SALT > O Procedimento QTDE-CABOS-SUPENSA será usado como um check de estimativa. Como o valor chegado pelo procedimento limita a estimativa? EXPERT > MÍNIMO	1 - Restrição violada: QTDE-MÍNIMA-CABOS-SUPENSA 2 - Voltar e modificar: QTDE-CABOS-SUPENSA 3 - Tipo modificação: INCREMENTE 4 - Passo: MEMO 5 - Rating de não desejabilidade
1 - Nome: MODELO-MÁQUINA 2 - Restrição tipo: ATUAL 3 - Procedura: DATA-BASE 4 - Tabela: MÁQUINAS 5 - Coluna: MODELO 6 - Tera: CARGA-MAX > = CARGA-SUPENSA 7 - Ordem de ALTURA		

Figura 10: Exemplos de procedimentos de SALT

- Procedimentos para IDENTIFICAR uma RESTRIÇÃO que determinam situações em que é necessário especificar restrições para algum valor, fornecem condições para que se entre com as restrições. Estas restrições são especificadas no sistema como valores máximos ou mínimos;
- Procedimentos para PROPOR um REPARO que definem estratégias de atuação quando uma restrição é violada.

Em resumo PROPOR-EXTENSÃO propõe um valor para uma variável, IDENTIFICA-RESTRIÇÃO limita o valor da variável e PROPÕE-REPARO revisa o valor da variável.

### 5.2.2. Roteiro

- proponha extensões para o projeto e identifique restrições. Quando uma restrição é violada, ignore até todas as outras violações nesta área terem sido identificadas;
- Proponha possíveis remédios para todas as violações identificadas;
- Selecione o reparo que tiver menor custo;
- Revise o projeto;
- Se as violações persistirem volte a c;
- Remova porções que se tornaram inconsistentes com a revisão;
- Implemente a revisão e volte para a.

### 5.2.3. Análise Crítica

SALT tem como principal ser uma das poucas ferramentas que atuam para problemas de síntese com sucesso. Mas está muito longe de ser considerada uma ferramenta que possa ser aplicada a vários tipos de problemas desta classe. A própria tentativa de aplicar SALT em um problema de *schedulagem* mostrou que era necessário uma série de adaptações para que o mesmo funcionasse a contento. Outro ponto que pode ser melhorado em SALT é a interface que ele apresenta, pois não é muito amigável a um especialista, o que pouco minimiza a presença do engenheiro do conhecimento.

## 6. TENDÊNCIAS

Com o crescente sucesso comercial dos sistemas especialistas é compreensível que estudos para otimização do processo de aquisição de conhecimento tenham tomado forte impulso. Mesmo assim as técnicas aqui apresentadas tem muito o que melhorar para cumprir as suas funções dentro dos padrões que se estipulam como ótimos ou pelo menos aceitáveis desde que diminuam significativamente a ineficácia do processo

atual. Consideramos que alguns fatores e características serão impulsionadores destes avanços, quais sejam:

- a) Surgimento de novas arquiteturas de computadores com filosofias paralelas e maior potência computacional, que serão essenciais para um avanço na área de aprendizado automático;
- b) Avanço na arquitetura dos equipamentos voltados a utilização de hipermídia que modificarão radicalmente as formas de representação de conhecimento, além de prover suporte mais eficiente à algumas técnicas de aquisição hoje existentes como as análises de protocolos;
- c) Redes de computadores com alta velocidade, forçarão aos sistemas de aquisição a voltarem-se para trabalhar de uma forma multiusuária com aquisição de conhecimento de múltiplos especialistas acontecendo paralelamente;
- d) Softwares básicos com filosofia de orientação a objeto bem como as linguagens de desenvolvimento dos ambientes de aquisição de conhecimento o que modificará a forma de interação homem x máquina com maiores recursos gráficos e de ícones;
- e) Avanço da área de processamento de linguagem natural (PLN), que também modificará a interação homem x máquina além de dar maiores possibilidades a aquisição de conhecimento por textos escritos;
- f) Surgimento de ferramentas de aquisição de conhecimento baseadas em redes neurais artificiais;
- g) Integração das fases do processo de aquisição de conhecimento nos sistemas de suporte de conhecimento, hoje já em desenvolvimento;
- h) Integração dos sistemas de suporte de conhecimento aos sistemas gerenciadores de banco de dados;
- i) Possibilidade de geração de conhecimento a partir de conhecimento já formalizado computacionalmente, ou seja fazer o sentido inverso do processo, provendo mais flexibilidade em manutenções e testes dos sistemas;
- j) Com o surgimento de sistemas especialistas que utilizam lógicas não clássicas, aparecerão ferramentas de aquisição de conhecimento com a mesma filosofia;
- l) Surgimento de ferramentas para problemas construtivos ou de síntese.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Ad85] ADAMS, J., Probabilistic reasoning and certainty factory. In Buchanan, B & Shortliffe, E.; Eds, Rule-Based Expert Systems. The MYCIN experiments of the Stanford Heuristic Programming Project, Reading Massachusetts. Addison-Wesley, 1985.
- [BB87] BOOSE, J. H., BRADSHAW, J. M.: AQUINAS: A Knowledge Acquisition Workbench for Building Knowledge-Based Systems. Proc. First European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW), Reading University, Set, 1987.
- [BB88] BOOSE, J. H., BRADSHAW, J. M.: Expertise transfer and complex problems: using AQUINAS as a knowledge acquisition workbench for knowledge-based systems: Knowledge Based Systems, Vol 2, Academic Press, 1988.
- [BF78] BUCHANAN, B. G., FEIGENBAUM, E. A.: DENDRAL and Meta-DENDRAL: Their application dimension, in: Artificial Intelligence, Vol 11, No. 1, 1978, pp. 5-24.
- [Bo84] BOOSE, J. H.: Personal Construct Theory and the Transfer Human Expertise. Proc. National Conference of AI, Austin - Texas. 1984.
- [Bo86] BOOSE, J. H.: Expertise Transfer for Expert System Design, New York, Elsevier.
- [Bo88] BOOSE, J. H.: Uses of Repetory-Grid Centered Knowledge Acquisition Tools for Knowledge-Based Systems, Proc. EKAW 88, 1988.
- [BS84] BUCHANAN, B. G., SHORTIFFE, E. H.: Rule based expert system: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristics Programming Project. Addison-Wesley Publ. Comp., Reading, MA, 1984.
- [CFM91] CIRNE FILHO, W. C., MONGIOVI, G. Aquisição de Conhecimento Através de Aprendizado Automático, 1991.
- [CH80] CHEN, P. P., Entity-Relationship Approach to Systems Analysis and Design. North-Holland, New York, 1980.
- [CI84] CLANCEY, W. J.: Knowledge Acquisition for Classification Expert Systems: Proc. ACM Annual Conference, pag. 11-14, 1984.
- [CI85] CLANCEY, W. J.: Heuristic Classification, Artificial Intelligence, no. 27, pp: 289-350, 1985.

- [DLRU87] DIEDERICH, J., LINSTE, L., RUHMANN, T.: A Methodology for Integrating Knowledge Acquisition Techniques. Proc. EKAW 87. Reading University. 1987.
- [DRM88] DIEDERICH, J., RUHMANN, L., MAY, M.: KRITON: a knowledge acquisition tool for expert systems. Knowledge Based Systems. Vol 2, Academic Press, 1988.
- [Fe81] FEIGENBAUM, E. A. Expert Systems in 1980's The state of the art Report on Machine Intelligence. A. Bond(ed). Pergamon-Infotech, 1981.
- [FN71] FIKES, R. E., NILSON, N. J.: STRIPS: A new approach to the application of theorem proving to Problem Solving. Artificial Intelligence, Vol 2. 1971.
- [FRR83] FREY, W., REYLE, U., ROHRER, C.: Automatic construction of knowledge base by analyzing texts in natural language. IJCAI 83. pp: 727-729, 1983.
- [Ga88] GOINES, B. R.: Integration issues for Knowledge Support Systems: Knowledge Based Systems, voll 1, Academic Press, 1988.
- [GY88] GAMMACK, J. Young, R. Psychological techniques for elicitation expert knowledge, Cambridge University Press, 1985.
- [GS85] GOINES, B. R., SHALL, M. L. G., Induction of inference rules for expert systems. Fuzzy Sets and Systems, 1985.
- [Ke55] KELLY, G.: The psychology of personal constructs. New York: Norton, 1955.
- [KK84] KUIPERS, B., KASSIRER, B.: Causal reasoning in medicine: analysis of a protocol. Cognitive Science, Vol 8, pp: 363-385, 1984.
- [KMYK87] KAWAGUCHI, A., MIZOGUCHI R., YAMAGUCHI, T., KAKUSHO, B.: SIS a shell for interview systems. Principles of expert systems, 1987.
- [KNM85] KAHN, G., NOWLAN, S., Mc DERMOTT, J.: Strategies for Knowledge Acquisition; IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence; vol 7, no. 5, pag 511-522. 1985.
- [Ma88] MARCUS, S.: Taking Backtracking with a Grain of SALT. Knowledge Based Systems. Vol 2. Academic Press, 1988.
- [Mc80] MC DERMOTT, D.: R1: An Expert in Computer Systems Domain: Proc. First Annual Conference of Artificial Intelligence, Stanford University, 1980.
- [Mi78] MICHALSKY, R. S.: Designing Extended Entry Decision Tables and Optimal Decision Trees Using Decision Diagrams. Urbana, Illinois. Intelligent Systems Group. Artificial Intelligence Laboratory, Department of Computer Sciences, University of Illinois, 1978.
- [Mi85] MINSKY, M.: The Society of Mind; Ed. Simon e Schuster, New York, 1985.
- [Ne82] NEWELL, A.: The Knowledge Level. Artificial Intelligence, Vol 18. pp: 87-127, 1982.
- [NKD83] NISHIDA, T., KOSAKA, A., DOSHITA, S.: Towards knowledge acquisition from natural languages documents-automatic model construction from hardware manuals. IJCAI 83, pp: 482-486, 1983.
- [PS81] POPE, M. L., SHAW, M. L. G., Personal construct psychology in education e learning. In Shaw, M. L. G., Ed. Recent Advances in Personal Constructs Technology. Academic Press, Londres, 1981.
- [Qu83] QUINLAN, J. R.: Learning efficient classification procedures and their application to chess end games. In Michalsky, R. S., Carbonnel, J. G., Mitchell, T. M., Eds, Machine Learning An Artificial Intelligence Approach, Vol 1, Tioga: Palo Alto, Calif6mia, 1983.
- [Sa80] SAATY, T. L.: The Analytic Hierarchy Process. New York: Mc Graw Hill, 1980.
- [SCMM88] SOULT, J. CAPLAIN, G., MARCUS, S., MC DERMOTT, J.: Toward Automating Recognition of Differing Problem-Solving Demands. Proc. EKAW 88, 1988.
- [Sh80] SHAW, M. L. G.: On becoming a Personal Scientist. Academic Press. Londres, 1980.
- [SW82] SHEPHERD, E., WATSON, J. P.: Personal Meanings. Ed. John Wiley. Londres, 1982.
- [Va92] VASCO, J. J. F.: Aquisiç3o de conhecimento. Uma Vis3o Geral. Relat3rio T3cnico. UFPB, Campina Grande, 1992.