



Universidade Federal do Vale do São Francisco

Inteligência Artificial

Professor: Marcelo Santos Linder

E-mail: marcelo.linder@univasf.edu.br

Página: www.univasf.edu.br/~marcelo.linder

Ementa

Introdução à resolução de problemas. Notas Históricas; Métodos de Busca com informação e heurística. Representação de Conhecimento. Introdução à Aprendizagem de Máquina e a algoritmos de aprendizagem simbólica. **Sistemas especialistas.** **Raciocínio progressivo e regressivo.** Agentes Inteligentes e Sistemas Multiagentes.

Conteúdo Programático

- Sistemas especialistas
 - Definição de sistemas especialistas
 - Estrutura de um sistema especialista
 - Técnicas de extração de conhecimento
 - Exemplo de sistemas especialistas
- Raciocínio progressivo e regressivo

Metodologia

- A disciplina será trabalhada com aulas expositivo-dialogadas, onde serão fornecidos os componentes teóricos e será feita a prática de exercícios.

Recursos

- Quadro branco, marcador, notebook e projetor multimídia.

Forma de Avaliação

- A avaliação será realizada mediante uma prova escrita. A prova ocorrerá no dia 08/07/2011, tendo início à 14h e com duração de 3h.
- O aluno para obter aprovação deve ter no **mínimo 75% de presença.**

Bibliografia

➤ Bibliografia Básica:

- RUSSEL, S; NOVIG, P. *Inteligência Artificial*. Elsevier, 2004.
- LUGER, G. F. *Inteligência Artificial. Estruturas e Estratégias para a solução de Problemas Complexos*. 4ª ed. Bookman, 2004.

➤ Bibliografia Complementar:

- BARRETO, J. M. *Inteligência Artificial, uma abordagem híbrida*. PPP, 2001.
- BITTEM COURT, G. *Inteligência Artificial. Ferramentas e teorias*. UFSC, 2006.

➤ Material complementar:

- PY, M. X. *Sistemas Especialistas: uma introdução*. Instituto de Informática UFRGS.
- Laboratório de Inteligência Artificial – LIA. *Manual do usuário – Expert SINTA*. Versão 1.1.UFC.
- Apresentação (slides) sobre Sistemas Especialistas produzida pelo Grupo de Inteligência Computacional (GIC) do Departamento de Informática (DI) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

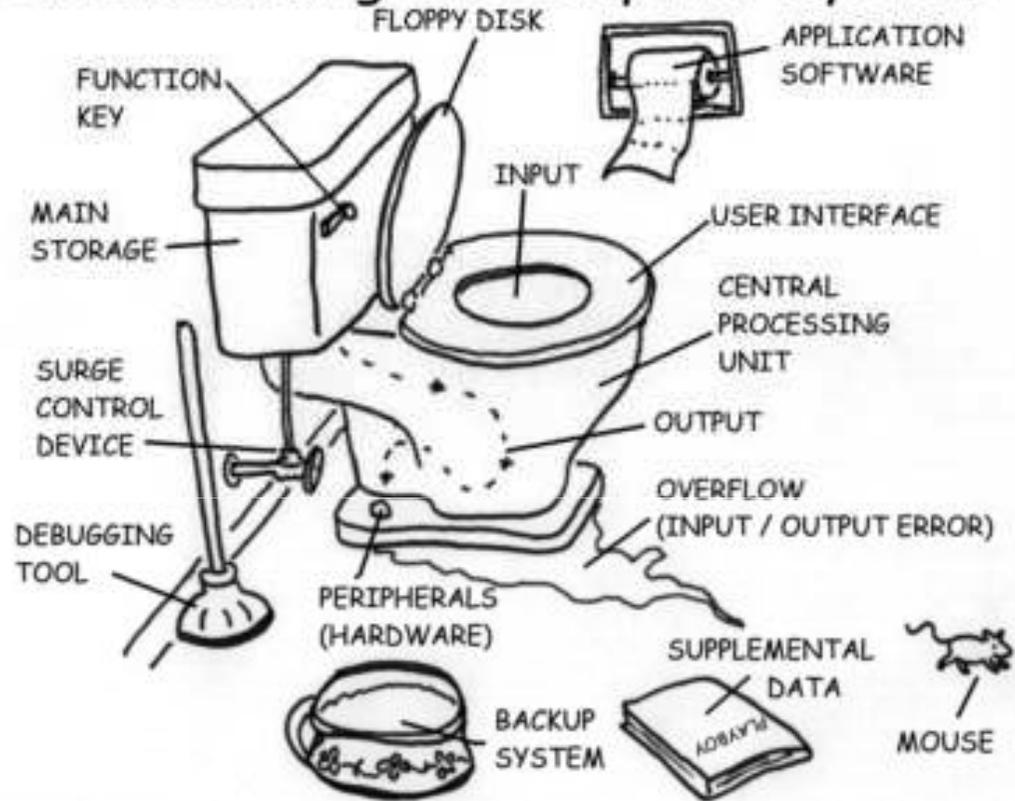
Sistemas Especialistas

Sistema...

Especialista...



Understanding the Computer System



Sistemas Especialistas

Um sistema computacional pode ser visualizado como uma plataforma de hardware que dá suporte à execução de um software, o qual visa solucionar um problema específico.

A grande característica/habilidade/capacidade humana que permitiu ao homo sapiens sapiens obter tamanha vantagem evolutiva sobre as demais espécies do planeta terra é sua inteligência.

Logo, conceber uma máquina dotada de inteligência, corresponderia a gerar inteligência artificial (IA).

Sistemas Especialistas

Este tema fomentou o surgimento da seguinte definição:

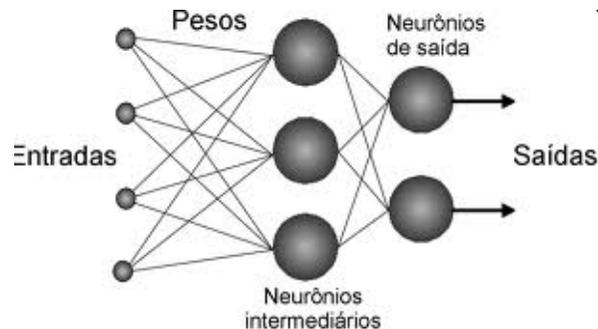
“Inteligência artificial é a parte da ciência da computação que compreende o projeto de sistemas computacionais que exibam características associadas, quando presente no comportamento humano, à inteligência (BARR; FEIGENBAUM, 1981).

Sistemas Especialistas

Existem duas linhas principais de pesquisa para a construção de sistemas inteligentes:

- a linha conexionista e;
- a linha simbólica.

Linha conexionista -> simulação de neurônios e suas interligações.



Linha simbólica -> base lógica.

1. Para encontrar uma mulher você precisa de tempo e dinheiro, então:
 $MULHER = TEMPO \times DINHEIRO$
2. "Tempo é dinheiro, então":
 $TEMPO = DINHEIRO$
3. Portanto:
 $MULHER = (DINHEIRO)^2$
4. "Dinheiro é a raiz de todos os problemas!", então:
 $DINHEIRO = \sqrt{PROBLEMAS}$
5. Então, temos que:
 $MULHER = (\sqrt{PROBLEMAS})^2$
 $MULHER = PROBLEMAS$

Sistemas Especialistas

Quando uma pessoa tem conhecimento de um fato, certamente ela poderá extrair tudo que souber sobre aquele fato quando bem estender.

Porém, na inteligência artificial existe um problema a mais quanto ao uso do conhecimento.

Na IA temos basicamente dois problemas relacionados ao conhecimento:

- como armazená-lo/representá-lo;
- como utilizá-lo.

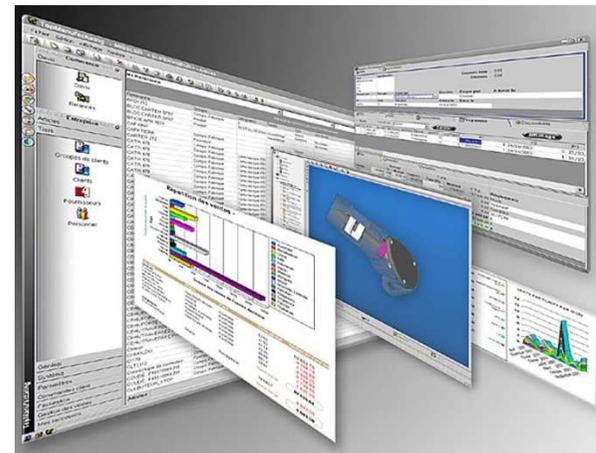
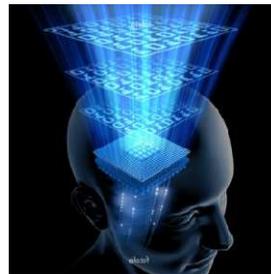
Sistemas Especialistas

Para atender a esta demanda surgem os Sistemas Baseados em Conhecimento (SBC), os quais aplicam mecanismos automatizados de raciocínio para a representação e inferência de conhecimento.

Desta forma temos:



Especialista humano



Sistema especialista

Sistemas Especialistas

Logo, um Sistema Especialista (SE) é **definido** como um programa que possibilita a utilização dos conhecimentos de um especialista humano através de uma máquina que permita o armazenamento e o seqüenciamento de informações e a auto-aprendizagem.

Um SE é capaz de processar informações não numéricas, apresentando conclusões sobre um determinado tema desde que devidamente orientado e “alimentado”. Outra característica comum nos sistemas especialistas é a existência de um mecanismo de raciocínio incerto que permita representar a incerteza a respeito do conhecimento do domínio.

Sistemas Especialistas

Em outras palavras, os SE's empregam o conhecimento humano para resolver problemas que requererem a presença de um especialista.

✦ Utilidade

- ✦ capacitar não-especialistas
- ✦ servir de assistente para especialistas
- ✦ servir de repositório de conhecimento “valioso” para a empresa
- ✦ etc.

✦ Conceitos Básicos

✦ *Expertise*

- ✦ conhecimento especializado adquirido por longo treinamento, leitura e experiência

Sistemas Especialistas

➤ Conceitos Básicos

➤ Especialista

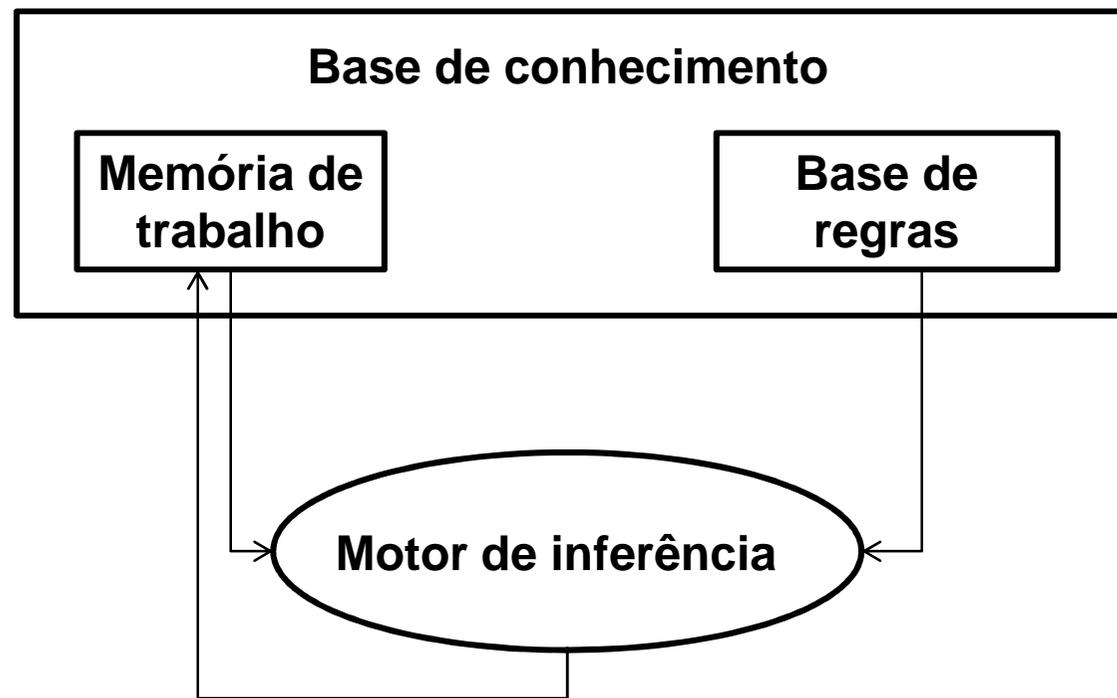
- Quem possui o conhecimento, experiência, métodos e a habilidade de aplicá-los para dar conselhos e resolver problemas.

➤ Engenheiro de conhecimento

- Guia a aquisição e representação do conhecimento especializado, bem como a implementação e refinamento do SE.

Sistemas Especialistas

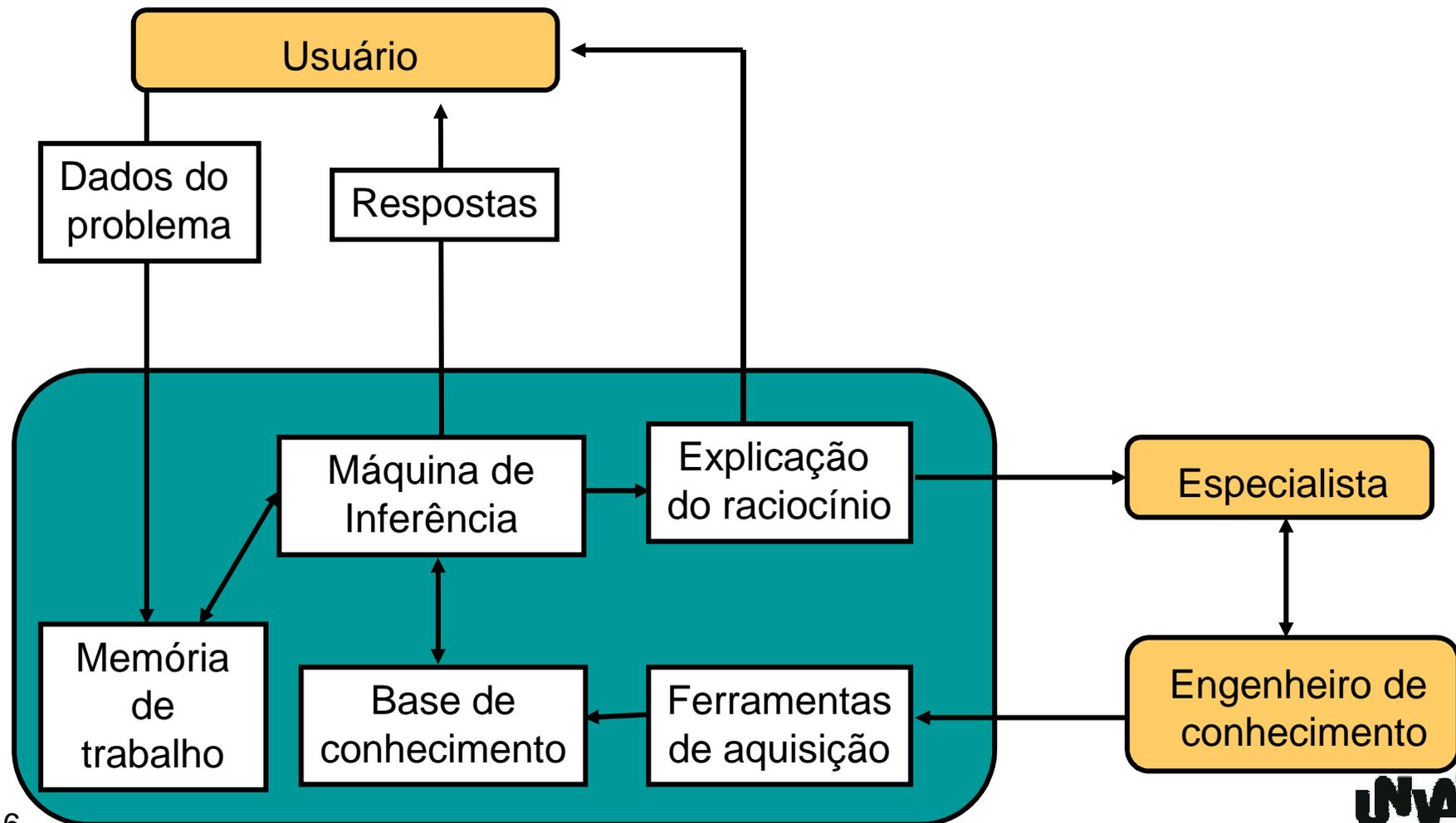
Um sistema especialista é **estruturado** com base em uma arquitetura similar à apresentada abaixo.



Arquitetura de um SE (Bittencourt, 2006)

Sistemas Especialistas

Uma arquitetura mais ampla para um SE, abrangendo os atores humanos envolvidos no sistema, é apresentada a seguir.



Sistemas Especialistas

➤ Base de Conhecimento Clássica

➤ Contém: conhecimento, escrito em uma linguagem de representação, necessário para a formulação e solução do problema

➤ Conhecimento ontológico (regras, redes semânticas, ...)

➤ ex. o homem é um animal

➤ Regras (estrutura de inferência)

➤ ex. Todo animal tem uma mãe

➤ Fatos

➤ ex. existem muitos meninos abandonados

➤ Heurísticas (para resolução de conflitos)

➤ ex. prefira a regra disparada mais recentemente

Sistemas Especialistas

- Memória de Trabalho: é volátil e registra...
 - descrição do problema em particular (instância)
 - hipóteses e decisões intermediárias, sub-objetivos, etc.
 - hipóteses e alternativas que o sistema já tenha produzido

Sistemas Especialistas

- O Motor de Inferência controla a atividade do sistema, a qual ocorre em ciclos, cada ciclo consistindo em três fases:
 - Correspondência de dados, onde as regras que satisfazem a descrição da situação atual são selecionadas;
 - Resolução de conflitos, onde as regras que serão realmente executadas são escolhidas dentre as regras que foram selecionadas na primeira fase, e ordenadas;
 - Ação, a execução propriamente dita das regras.

Sistemas Especialistas

➤ Subsistema de Explicação

➤ Objetivo: Explicar o comportamento do SE através de questões como:

- Porque uma certa pergunta foi feita pelo SE ?
- Como a conclusão foi alcançada?
- Porque alguma alternativa foi rejeitada?
- Qual é o plano para alcançar a solução?

➤ Exemplo:

➤ Porque é preciso saber o preço?

➤ Resposta:

REGRA #5

SE preço \leq salário E *dia = primeiro*

ENTÃO

compra é efetuada

Sistemas Especialistas

Em resumo um SE apresenta uma arquitetura com os seguintes componentes básicos: base de conhecimentos, mecanismos de inferência e explanação.

A base de conhecimento reuni o conhecimento do especialista modelado conforme a representação do conhecimento escolhida para modelar o domínio em questão.

O mecanismo de inferência examina o conteúdo da base de conhecimentos, decidindo a ordem em que se tiram as inferências. Assim, o mecanismo de inferência conduz a consulta com o usuário, transferindo os fatos e regras, utilizados durante uma consulta, para a memória de trabalho.

O módulo de explanação é responsável pela descrição do raciocínio do sistema para o usuário.

Sistemas Especialistas

Passos para o desenvolvimento de um SE:

1) Construção da base de conhecimento

- ✦ **Aquisição de conhecimento!**

- ✦ Representação de conhecimento
(formalização)

2) Implementação

- ✦ Codificação

- ✦ Construção do sistema de explicação,
interface, etc.

3) Refinamento e validação

Sistemas Especialistas

- Aquisição/Explicitação de conhecimento
 - acumulação, transferência e transformação de alguma fonte de conhecimento para um computador (base de conhecimento).
 - Espécie de engenharia de requisitos mais complexa
- Pode originar-se de várias fontes:
 - especialistas, livros e documentos, filmes, etc.
- Principais fases da aquisição
 - identificar características do problema
 - isolar os conceitos principais e suas relações (ontologia)
 - identificar inferências sobre estes conceitos

Sistemas Especialistas: Gargalo na construção

- Dificuldade de introspecção
 - o especialista quase nunca está ciente de como usa o conhecimento
 - Algumas soluções são intuitivas ou “compiladas”.
 - o especialista tem dificuldade de verbalizar sob pressão
- Uso de vocabulário próprio (jargão)
- O conhecimento expresso pode ser irrelevante
 - quantidades enormes de informações supérfluas são coletadas, para em seguida serem organizadas.
 - desafio: evitar informação irrelevante sem bloquear a descoberta de conceitos adicionais.

Sistemas Especialistas: Gargalo na construção

- O conhecimento expesso pode ser incompleto
 - o especialista pode não lembrar o conhecimento aprofundado para resolver um problema
 - especialista pode pular pontos importantes
- O conhecimento expesso pode ser incorreto ou inconsistente
 - Afinal quem garante a qualidade da solução, já que ela é “coisa de especialista”?
 - a racionalidade que se deseja modelar é limitada (H. Simon)!

Sistemas Especialistas

Como minimizar o gargalo da aquisição?

Utilizando métodos de aquisição.

Métodos de aquisição

➤ 3 categorias: Manual, Semi-automático e Automático

➤ Manual

➤ Entrevistas (estruturadas ou não estruturadas)

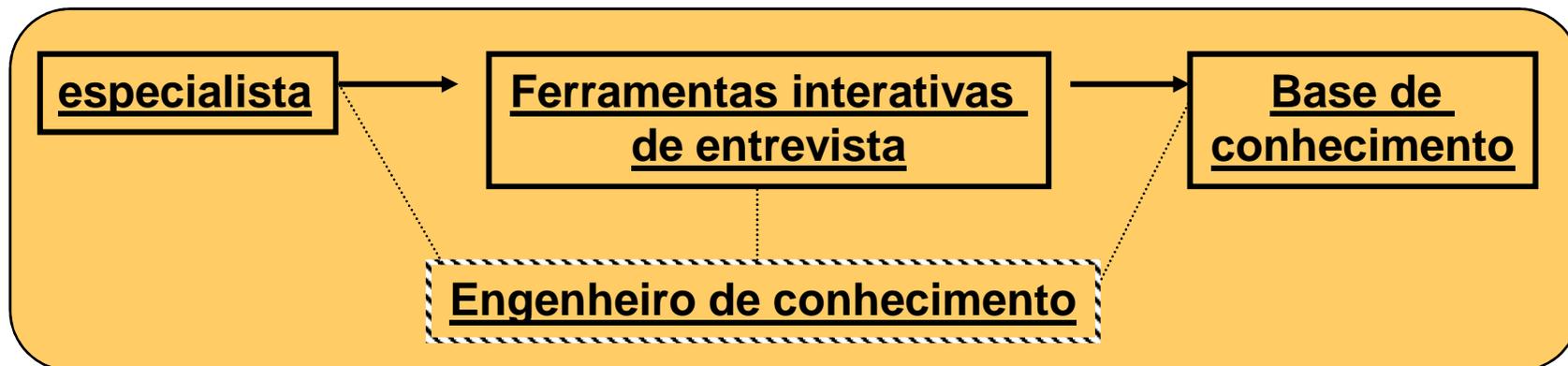
➤ Tracking methods (análise de protocolos e observação)



Métodos de aquisição

➤ Semi-automáticos

- ajuda ao especialista (grid repertory analysis)
- ajuda ao engenheiro de conhecimento (editores, documentadores, etc.)



➤ Automático:

- machine learning



Sistemas Especialistas

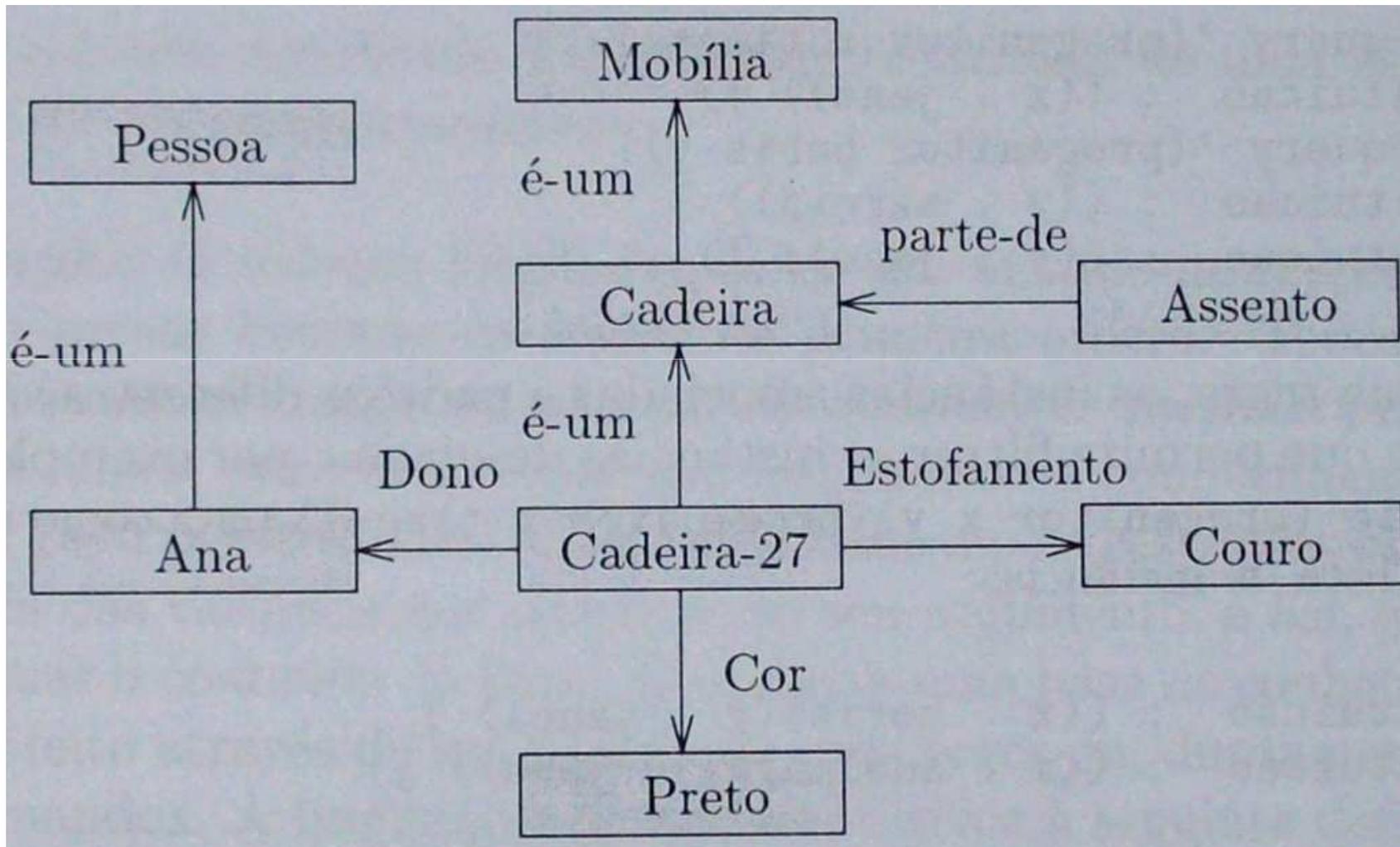
- Métodos de representação de conhecimento
 - Ponto importante
 - Exemplos de formalismos:
 - Lógica : é a base para a maioria dos formalismos de representação de conhecimento, seja de forma explícita, como nos sistemas especialistas baseados na linguagem Prolog, seja mascarada na forma de representações específicas que podem facilmente ser interpretadas como proposições ou predicados lógicos.
 - Ex.: Se A então B

Sistemas Especialistas

- Métodos de representação de conhecimento
 - Exemplos de formalismos:
 - Redes semânticas: é um nome utilizado para definir um conjunto heterogêneo de sistemas. Em última análise, a única característica comum a todos estes sistemas é a notação utilizada: uma rede semântica consiste em um conjunto de nodos conectados por um conjunto de arcos. Os nodos em geral representam objetos e os arcos, relações binárias entre esses objetos.

Sistemas Especialistas

Exemplo de redes semântica:

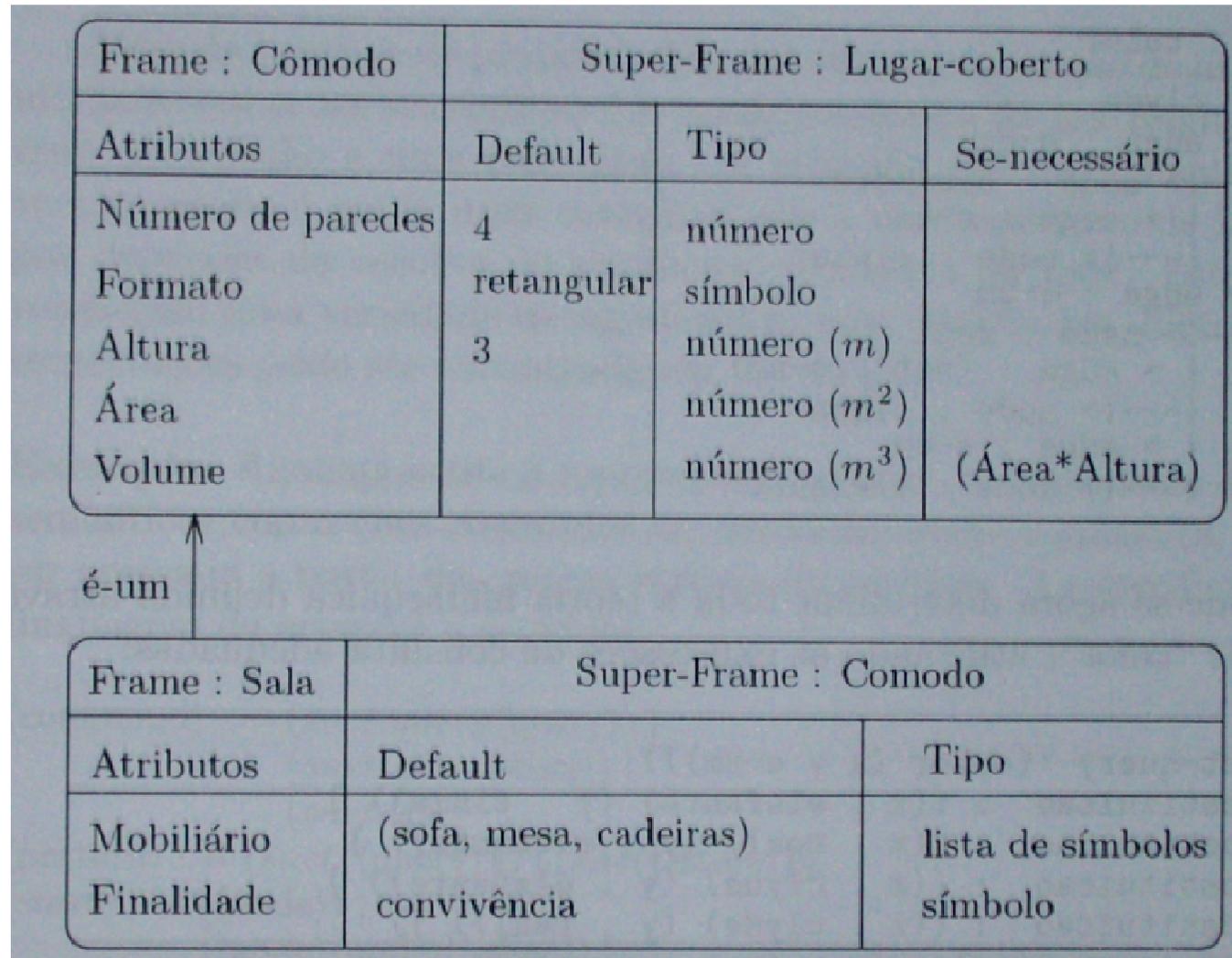


Sistemas Especialistas

- Métodos de representação de conhecimento
 - Exemplos de formalismos:
 - Quadros (frames), e sua variação, os roteiros (scripts): foram introduzidos para permitir a expressão das estruturas internas dos objetos, mantendo a possibilidade de representar herança de propriedades como as redes semânticas. As idéias fundamentais destes métodos foram introduzidas por Marvin Minsky, em seu artigo A framework to represent knowledge (MINSKY, 1975).

Sistemas Especialistas

Exemplo de quadros:



Sistemas Especialistas

- Motor de Inferência
 - As principais características do motor de inferência disponível em um SE dizem respeito às seguintes funcionalidades:
 - método de raciocínio,
 - estratégia de busca,
 - resolução de conflito e
 - representação de incerteza.
 - Detalharemos algumas dessas funcionalidades.

Sistemas Especialistas

➤ Modo de raciocínio

- Existem basicamente dois modos de raciocínio aplicáveis a regras de produção:
 - encadeamento progressivo ou encadeamento a frente (do inglês, forward chaining),
 - e encadeamento regressivo ou encadeamento para trás (do inglês, backward chaining).

Sistemas Especialistas

➤ Modo de raciocínio

- No encadeamento progressivo, também chamado encadeamento dirigido por dados, a parte esquerda da regra é comparada com a descrição da situação atual, contida na memória de trabalho. As regras que satisfazem a esta descrição têm sua parte direita executada, o que, em geral, significa a introdução de novos fatos na memória de trabalho.

Sistemas Especialistas

➤ Modo de raciocínio

- No encadeamento regressivo, também chamado encadeamento dirigido por objetivos, o comportamento do sistema é controlado por uma lista de objetivos. Um objetivo pode ser satisfeito diretamente por um elemento da memória de trabalho, ou podem existir regras que permitam inferir algum dos objetivos correntes, isto é, que contenham uma descrição deste objetivo em suas partes direitas. As regras que satisfazem esta condição têm as instâncias correspondentes às suas partes esquerdas adicionadas à lista de objetivos correntes.

Sistemas Especialistas

➤ Modo de raciocínio

(Encadeamento regressivo – continuação)

- Caso uma dessas regras tenha todas as suas condições satisfeitas diretamente pela memória de trabalho, o objetivo em sua parte direita é também adicionado à memória de trabalho. Um objetivo que não possa ser satisfeito diretamente pela memória de trabalho, nem inferido através de uma regra, é abandonado. Quando o objetivo inicial é satisfeito, ou não há mais objetivos, o processamento termina.

Sistemas Especialistas

- Estratégia de busca
 - Uma vez definido o tipo de raciocínio/encadeamento, o motor de inferência necessita ainda de uma estratégia de busca para guiar a pesquisa na memória de trabalho e na base de regras. Este tipo de problema é conhecido como busca em espaço de estados. Este tópico foi um dos primeiros estudados em IA, no contexto de solução de problemas (do tipo quebra-cabeças) e jogos por computador (damas, xadrez, etc.).

Sistemas Especialistas

➤ Resolução de conflito

- Ao terminar o processo de busca, o motor de inferência dispõe de um conjunto de regras que satisfazem à situação atual do problema, o chamado conjunto de conflito. Se esse conjunto for vazio, a execução é terminada; caso contrário, é necessário escolher que regras serão realmente executadas e em que ordem.
- Os métodos de resolução de conflito mais utilizados ordenam as regras de acordo com os seguintes critérios:
 - prioridades atribuídas estaticamente;

Sistemas Especialistas

- Resolução de conflito
 - características da estrutura das regras como complexidade, simplicidade e especificidade;
 - características dos dados associados às regras como o tempo decorrido desde sua obtenção, sua confiabilidade ou seu grau de importância;
 - e, finalmente, seleção ao acaso.

Sistemas Especialistas

- ➔ Para uma compreensão adequada dos elementos e passos que compõem um SE detalharemos melhor o processo através da exploração de um exemplo.

Regras para veículos

Bicicleta: Se **veículoTipo=ciclo**
E **num-rodas=2**
E **motor=não**
Então **veículo=*Bicicleta***

Triciclo: Se **veículoTipo=ciclo**
E **num-rodas=3**
E **motor=não**
Então **veículo=*Triciclo***

Motocicleta: Se **veículoTipo=ciclo**
E **num-rodas=2**
E **motor=sim**
Então **veículo=Motocicleta**

Motocicleta: Se **veículoTipo=ciclo**
E **num-rodas=2**
E **motor=sim**
Então **veículo=Motocicleta**

CarroSport: Se **veículoTipo=automóvel**
E **tamanho=pequeno**
E **num-portas=2**
Então **veículo=CarroSport**

Sedan: Se **veículoTipo=automóvel**
E **tamanho=médio**
E **num-portas=4**
Então **veículo=Sedan**

MiniVan: Se **veículoTipo=automóvel**
E **tamanho=médio**
E **num-portas=3**
Então **veículo=MiniVan**

UtilitárioSport: Se **veículoTipo=automóvel**
E **tamanho=grande**
E **num-portas=4**
Então **veículo=UtilitárioSport**

Ciclo: Se **num-rodas<4**
Então **veículoTipo=ciclo**

Automóvel: Se **num-rodas=4**
E **motor=sim**
Então **veículoTipo=automóvel**

Sistemas Especialistas

➤ Meta-regras

- Se **R1** e **R2** podem ser disparadas, escolha **R1**
- Se **R1** e **R2** podem ser disparadas e **R1** foi disparada mais recentemente que **R2**, escolha **R2**

➤ Fatos

- **Veículo1**: tamanho=pequeno; num-portas=2; motor=sim
- **Veículo2**: num-rodas=2; motor=não

Raciocinando com Encadeamento Progressivo

- Dos dados à conclusão
 - Parte dos fatos na Base de Regras (BR) e na memória de trabalho, buscando quais regras eles satisfazem, para produzir assim **novas conclusões (fatos)** e/ou **realizar ações**.
- Três etapas:
 - Busca, Casamento (unificação), Resolução de conflito

Encadeamento progressivo Algoritmo

1. Armazena as regras da base de conhecimento (BC) na máquina de inferência (MI) e os fatos na memória de trabalho (MT);
2. Adiciona os **dados/conhecimento iniciais (fatos)** à memória de trabalho;
obs.: esses dados podem ser fornecidos pelo usuário do **sistema**
3. Compara o antecedente das regras com os fatos na MT.
 - Todas as regras cujo antecedente “**casa**” (**unifica**) com esses fatos podem ser **disparadas** e são colocadas no **conjunto de conflito**;
4. Usa o procedimento de **resolução de conflito** para selecionar uma única regra desse conjunto;

Encadeamento progressivo Algoritmo

5. Dispara a regra selecionada e verifica o seu conseqüente:

5a) se for um **fato**

- Atualiza a MT
- Repete os passos 3, 4 e 5 até o conjunto de conflito se tornar vazio.

5b) se for uma **ação**

- Chama o procedimento que realiza a ação escolhida
- Atualiza a MT
- Volta para o passo 2 (para obter novos dados do ambiente).

Encadeamento progressivo Busca e Casamento (unificação)

- O algoritmo tenta casar (**unificar**) as premissas das regras selecionadas com os fatos na memória de trabalho
 - **MT1**: num-rodas=4, motor=sim, num-portas=3, tamanho=médio
 - **MI (regras da BC)**: Se num-rodas=4 E motor=sim
Então veículoTipo=automóvel
 - **MT2**: MT1 + veículoTipo=automóvel

Encadeamento progressivo: Busca e Casamento

- Geralmente, o antecedente de cada regra selecionada é **comparado** com os fatos na MT usando **busca gulosa (best-first)**
- Custo da busca-casamento
 - Se a BR é muito grande, verificar todas as premissas de todas as regras a cada ciclo é **caro**

Encadeamento progressivo: Resolução de conflitos

- Resolução de conflitos
 - heurística geral para escolher um subconjunto de regras a disparar
- Exemplos:
 - **Não duplicação:** não executar a mesma regra com os mesmos argumentos duas vezes.
 - **Prioridade de operação:** preferir ações com prioridade maior
 - **Recency (“recenticidade”):** preferir regras que se referem a elementos da Memória de Trabalho criados recentemente.
 - **Especificidade:** preferir regras que são mais específicas.

Encadeamento progressivo: Exemplo no domínio dos veículos

- Carregar a BR de veículos no MI e atribuir valores iniciais para algumas variáveis, guardando esses fatos na MT.
 - **Fatos iniciais:** num-rodas=4, motor=sim, num-portas=3, tamanho=médio
- Exercício: Aplique os passos estudados e infira um resultado.