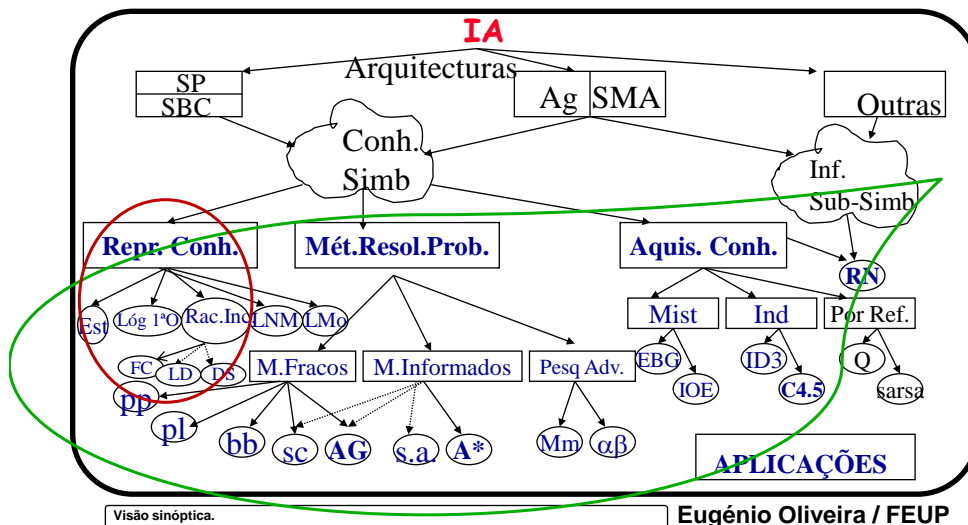


# INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

## • III-INTRODUÇÃO À REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO a) Estruturas de Representação

Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP



Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

Inteligência Artificial e Conhecimento

(C. da Cognição Vs Engenharia do Conhecimento)

- Inteligência Artificial,
- Tecnologia da Programação
- A Engenharia do Conhecimento **desenvolve e explicita métodos de "Representação do Conhecimento" e Estratégias de manipulação desse mesmo Conhecimento.**

As questões que se colocam são:

- 1 O que é o conhecimento?
- 2 (Como) pode ele ser representado?
- 3 (Como) poderá ele ser manipulado?

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

- "General Problem Solvers" **Versus** Sistema Baseados em Conhecimento
- **Não determinismo implica métodos de** Pesquisa de soluções em Espaços de Estados (Métodos de Resolução de Problemas)
- **Representação** e tratamento do Conhecimento:  
Caraterísticas: Métodos:
  - exato (Processos de **inferência** da Lógica clássica) ✓
  - Temporário (Raciocínio não-monótono)
  - Incerto (Teorias probabilísticas frequentistas ou **subjectivistas**) ✓
  - Incompleto (Raciocínio por defeito)

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

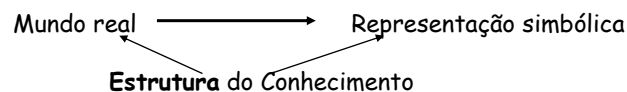
- **Aquisição** do Conhecimento:
  - Por entrevista
  - Automática
  - Análise do domínio
- Forma do Conhecimento :
  - Intensivo
  - Extensivo
- Modelo do Domínio
- Dificuldade: “Frame Problem”

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

### Representação do conhecimento

Tradução computacional do conhecimento e raciocínio



**Adequação:** para a Retribuição  
**Inferência**  
Model(iz)ação

**Eficiência:** na Inferência

Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

Métodos de representação:

### Declarativos

coleção estática de factos

+

procedimentos genéricos de manipulação

### Procedimentais

conhecimento codificado  
de forma operacional

Representação do Conhecimento

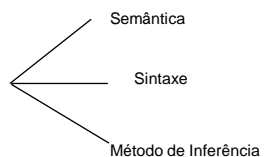
Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

**Esquemas:** Descrição mais abstrata de padrões de suporte do conhecimento

- Lógica
- Enquadramentos ("Frames")  
coleção de atributos e propriedades relacionadas com um **conceito**
- Guiões ("scripts")  
conjuntos de sequências de **ações** relacionados com eventos típicos
- Modelos de Regras  
Associações de pares **Condições - Acções**
- Redes Associativas ("Semantic Networks")  
Grafos de objetos (conceitos e instâncias) ligados por **relações**

Representação



Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

**Primitivas** Conceptuais do domínio podem representar-se por “triplos”:

**Objeto**                      **Atributos**                      **Valores**

**Conceitos** são Classes: descrição de Conjuntos de Objetos aparentados (da mesma classe)

### Definição Formal de Sistema de Representação de Conhecimento:

$S = (Ob, At, \{Val_a\}, f)$

$a \in At$

onde: **Ob**: Conjunto não vazio de Objetos (entidades)  
**At**: Conjunto não vazio de Atributos  
 **$\{Val_a\}$** : Conjunto não vazio de Conj<sup>os</sup> de valores para cada Atributo  
**f**: Função de  $Ob * At$  para  $Val_a, a \in At$   
 tal que  $f(o, a) \in Val_a, \forall o \in Ob, \forall a \in At$   
 **$Val_a$**  é o domínio dos valores do Atributo  $a$   
**f** é a **Função de Informação**

Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

ex:  $ob = \{Pac1, Pac2, Pac3, Pac4\}$   
 $At = \{\text{sexo, idade}\}$   
 $Val_{\text{sexo}} = \{\text{ma, fe}\}$   
 $Validade = \{\text{novo, médio, idoso}\}$

	At	
	S	Y
Pac1	ma	novo
Pac2	ma	médio
Pac3	fe	velho
Pac4	fe	novo
O	Val	

### Sistemas de Representação com informação multi-valor

$S = (Ob, At, \{Val_a\}, g)$

**g** é uma **relação** tal que se  $(o, a, v) \in g \longrightarrow v \in Val_a$   
 e  $\forall o \in Ob, \forall a \in At, \forall v \in Val_a : (o, a, v) \in g$

**ex:**

$Ob = \{P1, P2, P3, P4\}$   
 $At = \{\text{Ling, Grau}\}$   
 $Val_{\text{Ling}} = \{\text{Fr, Ig, Pt, Al, It}\}$   
 $Val_{\text{grau}} = \{\text{Bch, Lic, M, D, Pat}\}$

Relações válidas:

$g1 \equiv (P1, \text{Ling}, \text{Fr})$

$g2 \equiv (P1, \text{Ling}, \text{Pt})$

$g3 \equiv (P4, \text{Grau}, \text{M}) \dots$

	Ling	Grau
P1	Fr, Pt, Ig	Bch, Lic
P2	Fr, Pt	Bch
P3	Pt	Pat
P4	Fr, Ig, Pt, Al	Lic, M, D

Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO = ESTRUTURA + ACESSO

- **Esquemas lógicos** :
  - Lógica de predicados
  - Lógica proposicional
  - fáceis de operar por regras de inferência
  - requerem muita memória

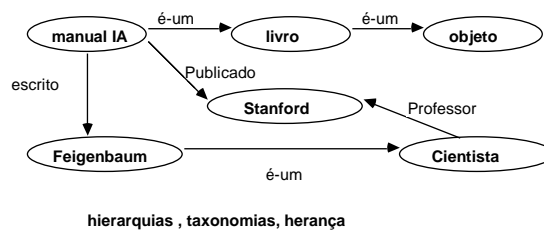
**Redes Associativas**: descrever propriedades e relações entre conceitos, objetos, eventos, situações, nós e arcos etiquetados  
ex:

Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

Manual de IA publicado em Stanford por E. Feigenbaum



Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

### Regras de "Produção" ("Produções"):

Pares Condições - Acção  
modulares  
mais fácil expansão  
ativação pelo estado do sistema  
próximas do modelo cognitivo

Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

### Regras de Produção (Produções):

Condições implicam Conclusão

Premissa1 E  
Premissa2 E ...  
Premissa n  
IMPLICA Conclusão

Incluindo Incertezas:

P1 - FC1 E  
P2 - FC2 E  
P3 - FC3  
→ C1 - FCC

Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

Ainda as **Produções**:

**Esquema:** IF P THEN C1 ELSE C2...  
P      Função Booleana;    Ci      Conclusões alternativas

**ex:** SE    factor (património, Ponto, existe)  
         OU factor (flora, Ponto, rica)  
         E factor (acessibilidade, Ponto, boa)  
         ENTÃO aptidão (lazer, Ponto, grande)  
         SENÃO aptidão (lazer, Ponto, 40% factor1+60%f2).

Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

**"Frames"** (Enquadramentos):

Estruturas de conhecimento para representar objetos  
ou situações típicas e compostas por:

nome da "frame"

campos ("slots") que podem conter dados ou procedimentos

Frame

**Nome:** Avião

**Tipo:** combate, transporte, bombardeiro, abastecimento, vigilância

**Fabricante:** Boeing, Aerospacial, Embraer, Douglas

**Peso:** X toneladas

**Peso Máximo:** 1,6 \* Peso

**Velocidade:** apontador para tabela(tipo de avião, peso máximo)

**Tripulação "cockpit":** 1=<T=<3; por defeito 2

Permite hierarquias e procedimentos ligados

Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP



## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

### Implementação de um Sistema de Enquadramentos ("Frames") em Prolog.

#### - Estrutura de Representação:

Nome do predicado: frame  
Argumentos: Nome\_frame, Lista das "slots" (campos)  
Slot: Nome do campo-Lista de facetas  
Faceta: Nome Valor  
Nomesfacetas: valor, valordefeito, calculo, add, del

#### -Exemplo:

```
frame (macaco,[ tipo-[val, primata],  
                pelo-[def, curto],  
                peso-[calculo, tab_peso_altura]  
        ]  
      ).
```

Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

### Acesso ao Conhecimento:

```
getframe (Nome,[A-V|R]).  
addframe (Nome,[A-V|R]).  
delframe (Nome,[A-V|R]).
```

### USO DAS FRAMES

A vantagem é um natural uso de herança e estruturação do Conhecimento.

Regras sobre identificação de pássaros

```
info:  ordem tubenose  
       família albatroz  
       espécie patapreta
```

Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

```
frame(tubenose, [nível-[val, ordem],
                narinas-[val, tubular],
                habitat-[val, mar],
                garra-[val, curva]]).

frame(albatroz, [tipo-[val, tubenose],
                nível-[val, familia],
                tamanho [val, grande],
                asas-[val, compridas_estreitas]]).

frame(albatroz_vulgar, [tipo-[val, albatroz],
                       nível-[val, especie],
                       cor-[val, branco]]).

frame(albatroz_pata_preta, [tipo-[val, albatroz],
                           nível-[val, especie],
                           cor-[val, preto]]).
```

Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

O programa de manipulação das "frames" deveria ser tal que permitisse obter valores dadas as seguintes perguntas:

```
?- getframe (X, [cor-preto, asas-compridas_estreitas]).
                                X= albatroz_pata_preta

?- getframe (X, [asas-compridas_estreitas]).
                                X= albatroz;
                                X= albatroz_pata_preta;
                                X= albatroz_vulgar;
```

Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

Exemplo de **Sistema da NASA** incluindo vários tipos de Representação de Conhecimento:

- \* **Regras** ("Produções")
- \* Redes Associativas ("**Semantic Networks**")
- \* Enquadramentos ("**Frames**")

Ex. de "Regra de Produção":

IF the shuttle power\_supply fails  
AND a working power\_supply is available  
AND the situation causing the problem no longer exists  
THEN switch to the backup power\_supply

Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

Ex. de Frame:

**Airplane** Frame:

Type: IFO

range: (fighter, transport, trainer, bomber, light plane, observation)

Manufacturer:

range: (McDonnell-Douglas, Boeing, Airbus,...)

Empty Weight:

range: (500 lbs to 250.000 lbs)

Gross Weight:

range: (500 lbs to 500.000 lbs)

if needed (1.6 \* empty weight)

Max Cruising range:

If needed: (lookup in table cruising range appropriate to type and gross weight)

Number of Cockpit Crew:

range: (1 to 3)

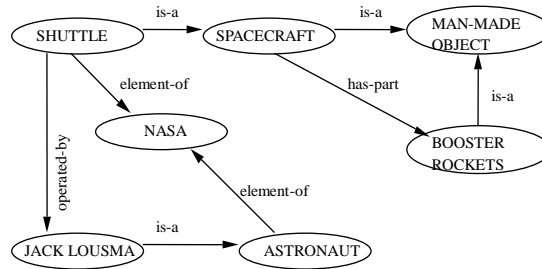
default: 2

Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

### Ex. de REDE ASSOCIATIVA ("SEMANTIC NETWORK")



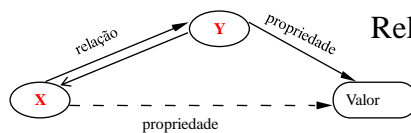
Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

### MECANISMOS DE HERANÇA

Existindo **relacionamento** entre objetos e **propriedades** que podem ser herdadas, pode poupar-se na representação explícita, incluindo relações de **herança**:



Relações do tipo: is\_a ...

propriedade(X,Valor):- relação(X,Y), propriedade(Y,Valor).  
 propriedade(X,Valor):- relação(Y,X), propriedade(Y,Valor).

Suponhamos que em um sistema de conhecimentos sobre animais sabíamos que as propriedades:

"respiração" e "cobertura" eram herdadas pelos sub-grupos taxonómicos

Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

**Relação** entre objetos que permite herança: "é-um"

é-um(truta, peixe).  
é-um(leão, mamífero).  
é-um(salmão, peixe).

.....

respiração(peixe, guelra).	respiração(mamífero, pulmões).
cobertura(peixe, escamas).	cobertura(mamífero, pelos).

Sendo as propriedades **respiração e cobertura** herdáveis:

respiração(Y,Valor):- é-um(X,Y), respiração(X,Valor).  
cobertura(Y,Valor):- é-um(X,Y), cobertura(X,Valor).

Devem acrescentar-se as exceções.

Representação do Conhecimento

Eugénio Oliveira / FEUP



## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO



Representação  
do  
Conhecimento de um Agente  
em Lógica

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

Consideremos o problema do **Mundo do Monstro**:

1,4	C		B	P	
1,3	M	 C B	P	B	
1,2	C		B		
1,1	I 	B	P	B	
	2,1	3,1	4,1		

 AGENTE  
 OURO  
**P** Poço  
 C Cheiro  
 B Brisa  
**M** MONSTRO

**Tarefa do Agente:** Encontrar o Ouro, trazê-lo para I sem morrer (Poço e Monstro) e Sair  
**Percepções** nas localizações de acordo com a Figura (C do M e B do P)  
 Ouro só visível no próprio local e Grito na morte do M. Colisão contra Paredes

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

Lista de **Percepções** [C,B,O,P,G] (cheiro,brisa,ouro,parede,grito)  
 ex: [C,B,N,N,N]

**Operadores:** Frente, Virar (D), Virar(E), Pegar, Atirar seta  
 em linha recta para Frente, Sair (só em I).

Localização de M e O escolhida aleatoriamente.

probabilidade de existência de Poço em quadrado = 0,2

O Monstro está parado.

Modus Ponens

$$\frac{\alpha \Rightarrow \beta, \alpha}{\beta}$$

É necessário Representar o **Conhecimento e Raciocínio Lógico**

**Lógica proposicional** e suas Regras de **Inferência**: MP, AE, AI,

Resolução unitária:  $\frac{\alpha \cup \beta, \sim \beta}{\alpha}$  semelhante ao MP (se um el. da disjunção é falso o outro tem de ser verdadeiro)

Resolução:  $\frac{\alpha \cup \beta, \sim \beta \cup \gamma}{\alpha \cup \gamma}$

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

transformar as percepções do Ag em Fórmulas na BC:

seja:  $C_{i,j} = \exists$  Cheiro em  $[i,j]$        $B_{i,j} = \exists$  Brisa em  $[i,j]$        $A_{i,j}$  Agente em  $[i,j]$

Algumas fórmulas:

**R1:**  $\sim C_{1,1} \rightarrow \sim M_{1,1} \vee \sim M_{1,2} \vee \sim M_{2,1}$

**R2:**  $\sim C_{2,1} \rightarrow \sim M_{1,1} \vee \sim M_{2,1} \vee \sim M_{2,2} \vee \sim M_{3,1}$

**R3:**  $\sim C_{2,2} \rightarrow \dots$

**R4:**  $C_{1,2} \rightarrow M_{1,3} \vee M_{1,2} \vee M_{2,2} \vee M_{1,1}$

Usando MP, AE e Resolução unitária várias vezes poder-se-ia concluir  $M_{1,3}$

Seria necessário representar as **ações**. Ex:  $A_{1,1} \vee M_{3,1} \rightarrow \sim \text{Frente}$

Mas a Verdade das fórmulas altera-se com o tempo pois o Agente move-se.

Para saber "qual a ação", deve usar-se Lógica de 1ª ordem

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

Agente baseado em Lógica de 1ª Ordem

Percepção no instante  $t$  (ex  $t=5$ ) **Percept**([C,B,O,N,N],5)

Ações:	Virar(D)	Virar(E)	Frente
	Atirar	Pegar	Largar    Saír

Seja um **Agente Reativo**: Estímulo  $\rightarrow$  Ação

Ex:  $\forall c,b,p,g$  **Percept**([c,b,O,p,g],t)  $\rightarrow$  Ação(**Pegar**,t)

Formalismo Lógico  
Não Prolog

É preferível ter Regras para mediar entre percepção e ação.

Ex:  $\forall c,b,p,g,t$  **Percept**([c,b,O,p,g],t)  $\rightarrow$  **No\_ouro**(t)

$\forall t$  **No\_ouro**(t)  $\rightarrow$  Ação(**Pegar**(t))

O Agente **reativo** não sabe quando deve saír pois estar em I ou ter o ouro não faz parte das percepções

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

**Agente com Estado Interno** conhece o estado atual do mundo pois atualiza-o com o efeito das ações.

Cálculo **situacional** é uma Lógica de 1ª ordem para descrever **mudanças** no mundo. Sequências de situações

Novo argumento representando a ordem da situação, Ex:

Em(Agente, [1,1],S0)      Em(Agente,[1,2],S1) mas Parede([0,1])

**Ações** representadas pelos seus **efeitos**:

Resultado(Frente,S0)=S1      Resultado(Virar(D),S1)=S2

**Axiomas de Efeitos:** Portável(Ouro)

$\forall s, \text{No\_ouro}(s) \rightarrow \text{Presente}(\text{Ouro}, s)$

$\forall x, s \text{ Presente}(x, s) \text{ E Portável}(x) \rightarrow \text{Segurar}(x, \text{Resultado}(\text{Pegar}, s))$

$\forall x, s \sim \text{Segurar}(x, \text{Resultado}(\text{Largar}, s))$

Mas há outras inferências que se podem fazer:

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

**Axiomas de Enquadramento:**

$\forall a, x, s \text{ Segurar}(x, s) \text{ E } (a \neq \text{Largar}) \rightarrow \text{Segurar}(x, \text{Resultado}(a, s))$

$\forall a, x, s \sim \text{Segurar}(x, s) \text{ E } (a \neq \text{Pegar} \vee \sim(\text{Presente}(x, s) \text{ E Portável}(x))) \rightarrow \sim \text{Segurar}(x, \text{Resultado}(a, s))$

Podemos combinar na seguinte forma:

**Verdade a seguir  $\leftrightarrow$  ação torna verdadeiro V**

(anteriormente Verdadeiro E ação não falsifica)

$\forall a, x, s \text{ Segurar}(x, \text{Resultado}(a, s)) \leftrightarrow [a = \text{Pegar} \text{ E } \text{Presente}(x, s) \text{ E Portável}(x)]$

$\vee [(\text{Segurar}(x, s) \text{ E } a \neq \text{Largar})]$

Ainda é necessário Localização, Orientação, Mapa, etc

Orientação(Agente,s)=o com o={0,90,180,270}

$\forall x, y \text{ ProxLocal}([x, y], 0) = [x+1, y] \quad \text{ProxLocal}([x, y], 90) = [x, y+1] \dots$

Eugénio Oliveira / FEUP



## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

- Adjacências.
- Paredes  $x, y$   $Parede([x, y]) \leftrightarrow (x=0 \vee x=5 \vee y=0 \vee y=5)$
- Resultados de acções (localização quando Frente, Orientação D e E)
- Locais Cheirosos ou ventosos sem argumento de situação
- **Regras Causais:** (Sistemas Baseados em Modelos)  
 Ex:  $\forall l1, l2, s \text{ Em}(M, l1, s) \wedge \text{Adjacente}(l1, l2) \rightarrow \text{Cheiro}(l2)$   
 $\forall l1, l2, s \text{ Em}(\text{Poço}, l1, s) \wedge \text{Adjacente}(l1, l2) \rightarrow \text{Brisa}(l2)$
- **Regras de Diagnóstico:** Ex:  
 $\forall l1, s \text{ Cheiro}(l1) \rightarrow (\exists l2, \text{Em}(M, l2, s) \wedge (l2=l1 \vee \text{Adjacente}(l1, l2)))$   
 $\forall l1, l2, o, b, p, g, t$   
 $\text{Percept}([N, N, o, p, g], t) \wedge \text{Em}(\text{Agente}, l1, s) \wedge \text{Adjacente}(l1, l2) \rightarrow \text{OK}(l2)$   
 ou, melhor  $\forall l1, t (\sim \text{Em}(M, l1, t) \wedge \sim \text{Poço}(l1)) \leftrightarrow \text{OK}(l1)$  regra baseada em **Modelo**

Eugénio Oliveira / FEUP

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

- Ainda o MM
- das ações possíveis umas são preferíveis a outras :
- ação: Óptima, Boa, Aceitável, Arriscada, Mortal
- Ex:  $\forall a, s \text{ Arriscada}(a, s) \wedge$   
 $\sim \exists (b \text{ Óptima}(b, s) \vee \text{Boa}(b, s) \vee \text{Aceitável}(b, s)) \rightarrow \text{Ação}(a, s)$
- **Agente Baseado em Objetivos:**  
 (depois de Segurar Ouro o Agente altera o Objetivo)  
 Ex:  
 $\forall s \text{ Segurar}(O, s) \rightarrow \text{Objetivo}([1, 1], s)$
- O valor das ações altera-se agora pois o objetivo passa a ser outro

Eugénio Oliveira / FEUP