

# Representação do Conhecimento e Raciocínio, Agentes Lógicos (Proposicionais)

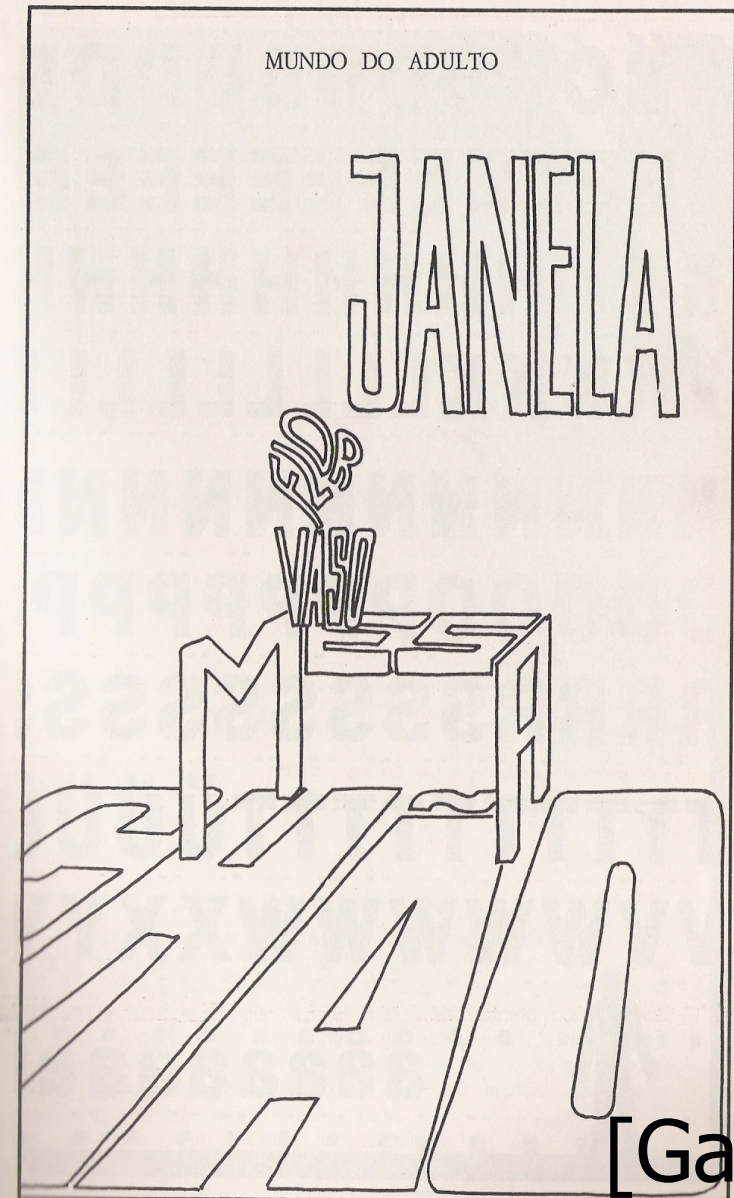
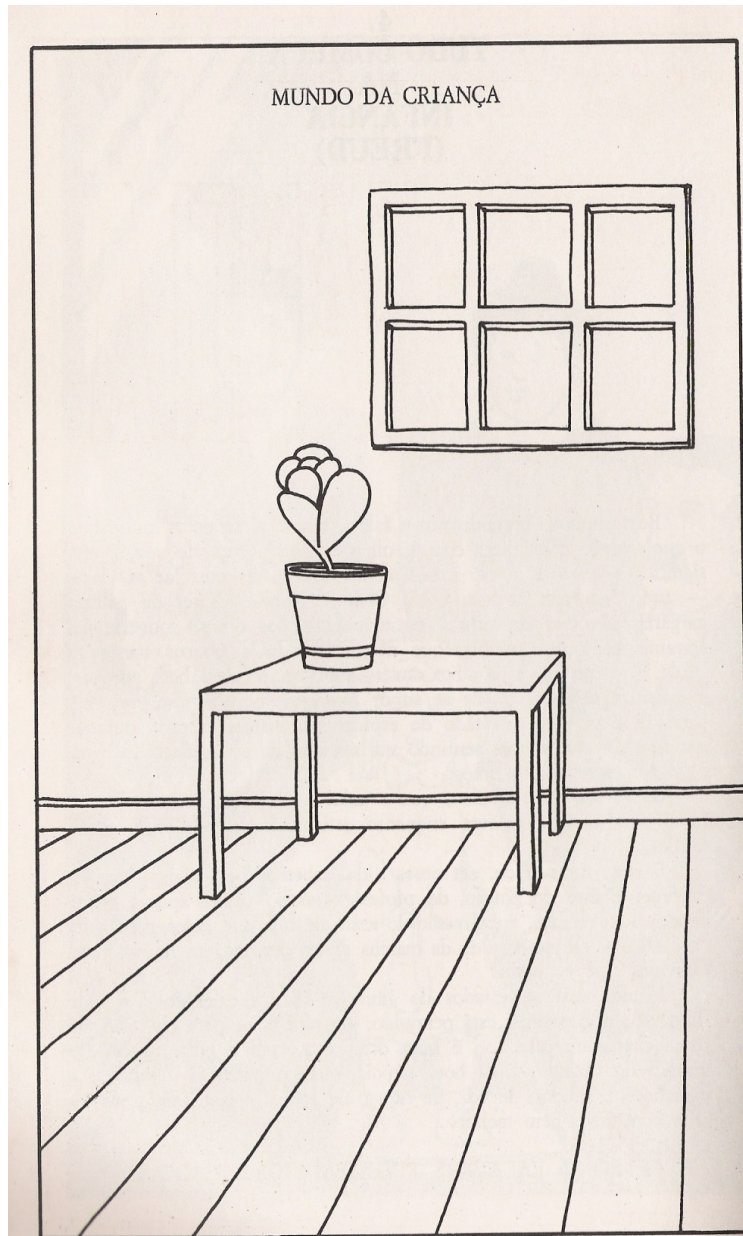
# Representação do Conhecimento (KR) e Raciocínio

- Definição
  - “Representação do conhecimento e raciocínio é a área da Inteligência Artificial (IA) que estuda como o conhecimento pode ser representado simbolicamente e manipulado de maneira automática por programas de raciocínio” (Brachman e Levesque, 2004)

# Conhecimento

- João sabe que Getúlio Vargas se suicidou.
  - Relação entre um **conhecedor**, João
  - E uma **proposição**, a ideia expressa por uma sentença declarativa, Getúlio Vargas se suicidou.
- Outras relações são possíveis:
  - João
    - acredita que, espera que, tem medo que....
  - Atitudes proposicionais

# Representação



[Gaiarsa]

# Representação do Conhecimento

- Estuda o uso de símbolos formais para representar uma coleção de proposições na qual acredita um agente.

# Raciocínio

- Manipulação formal de símbolos que representam uma coleção de proposições nas quais se acredita para produzir representações de novas proposições.
  - João ama Maria **E** Maria está vindo para a festa  $\Rightarrow$   
Alguém que João ama está vindo para a festa
- Raciocínio é uma forma de cálculo, análogo à aritmética, mas sobre símbolos que representam proposições, ao invés de números [Leibniz, século XVII]

# Por que Raciocínio em Programas?

- De forma geral, para aumentar o seu grau de autonomia, ou seja, para torná-los mais capazes de tratar tarefas que não foram totalmente previstas a priori.

# KR e Lógica

- Lógica: é um formalismo bem estudado para representação de conhecimento
- Pode satisfazer os seguintes critérios:
  - adequação representacional
    - permite representar o mundo (expressividade)
  - adequação inferencial
    - permite inferência
  - eficiência aquisicional
    - facilidade de adicionar conhecimento
  - modularidade



# Engajamento Ontológico

## ➡ Natureza da realidade, descrição do mundo

- Na Lógica Proposicional, o mundo consiste em  **fatos** .
- Na Lógica de Primeira Ordem, o mundo consiste em:
  - **objetos** : “coisas” com identidade própria
    - ♦ ex. pessoas, casas, Wumpus, caverna, etc.
  - **relações**  entre esses objetos
    - ♦ ex. irmão-de, tem-cor, parte-de, adjacente, etc.
  - **propriedades**  (que distinguem esses objetos)
    - ♦ ex. vermelho, redondo, fundo, fedorento, etc.
  - **funções** : um ou mais objetos se relacionam com um único objeto
    - ex. dobro, distância, pai\_de, etc.

# Engajamento Ontológico

- Além disso, a LPO exprime:
  - fatos sobre **todos objetos** do universo ( $\forall$ )
  - fatos sobre **objetos particulares** ( $\exists$ )
- Exemplos:
  - $1 + 1 = 2$ 
    - objetos: 1, 2; relação: =; função: +.
  - Todas as Cavernas adjacentes ao Wumpus são fedorentas.
    - objetos: cavernas, Wumpus; propriedade: fedorento; relação: adjacente.
- A LPO **não faz** engajamentos ontológicos para tempo, categorias e eventos...
  - neutralidade favorece flexibilidade

# Engajamento Epistemológico

## ➡ Estados do conhecimento (crenças)

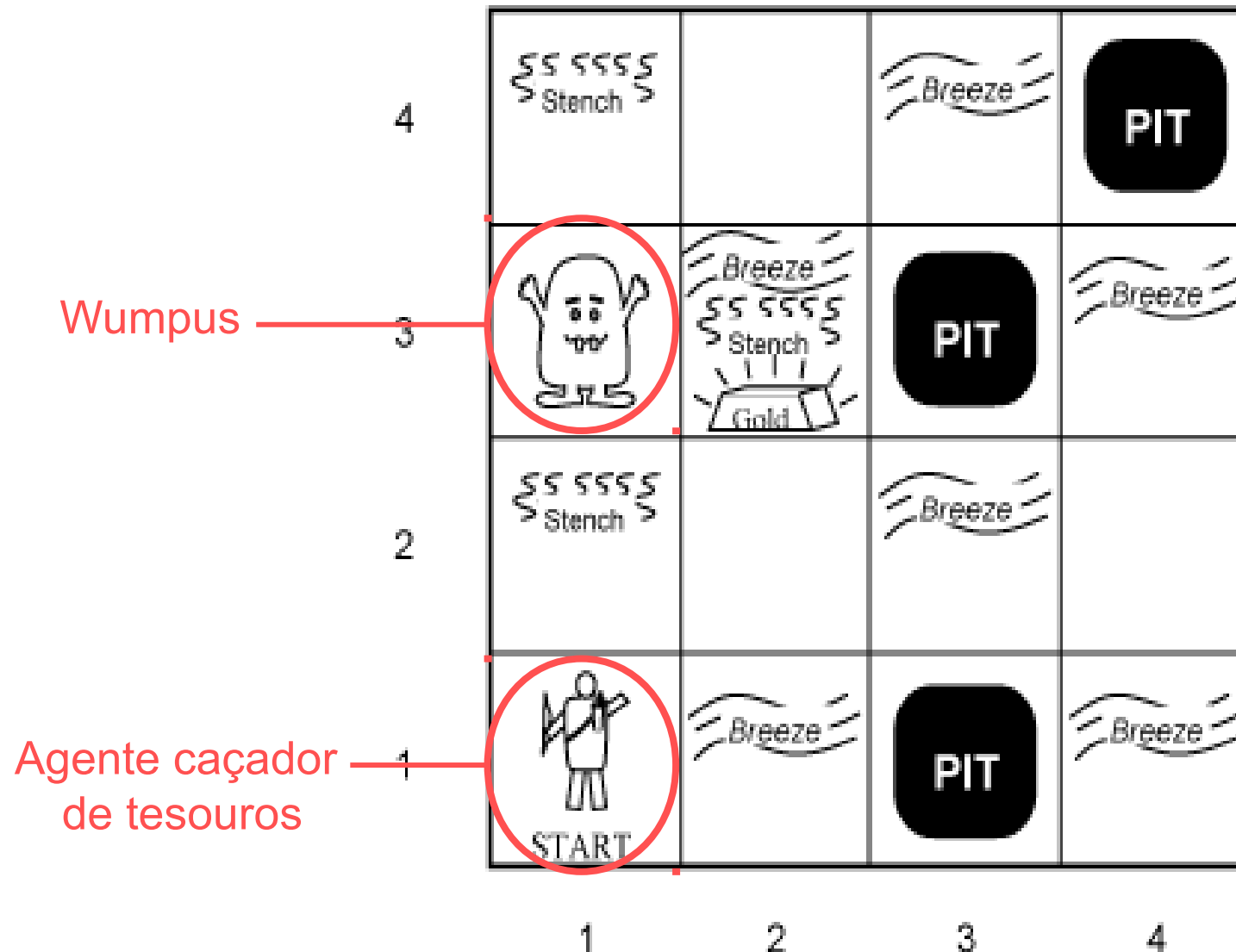
- A LPO tem o mesmo engajamento epistemológico que a lógica proposicional
  - tudo é **verdadeiro** ou **falso**
- Para tratar **incerteza**, usamos
  - Outras lógicas (n-valoradas, fuzzy, para-consistente, etc.)
  - Probabilidade

# Resumo

<b>Linguagem</b>	<b>Engajamento Ontológico</b>	<b>Engajamento Epistemológico</b>
L. Proposicional	Fatos	V, F, ?
LPO	Fatos, objetos, relações	V, F, ?
L. Temporal	Fatos, objetos, relações, tempo	V, F, ?
Probabilidade	Fatos	Grau de crença: 0-1
L. Difusa	Grau de verdade sobre fatos, objetos, relações	Grau de crença: 0-1

# Estudo de Caso: agente em Lógica Proposicional, o Mundo do Wumpus

# Bem-vindos ao "Mundo do Wumpus"



# O Mundo do Wumpus: formulação do problema - PAGE

## ◆ Ambiente:

- paredes, Wumpus, cavernas, buracos, ouro

## ◆ Estado inicial:

- agente na caverna (1,1) com apenas uma flecha
- Wumpus e buracos em cavernas quaisquer

## ◆ Objetivos:

- pegar a barra de ouro &
- voltar à caverna (1,1) com vida

# O Mundo do Wumpus: formulação do problema

## ◆ Percepções:

- **fedor** ao redor do Wumpus
- **vento** ao redor dos buracos
- **brilho** do ouro - apenas na caverna onde ele está
- **choque** contra a parede da caverna
- **grito do Wumpus** quando ele morre



# O Mundo do Wumpus: formulação do problema

## ◆ Ações do agente:

- **avancar** para próxima caverna
- **girar** 90 graus à direita ou à esquerda
- **pegar o ouro** na mesma caverna onde o agente está
- **atirar** na direção para onde está olhando
  - ◆ a flecha pára quando encontra uma parede ou mata o Wumpus
- **sair** da caverna

# Raciocinando e Agindo no Mundo do Wumpus

## ◆ Conhecimento do agente:

- (a) no início do jogo, depois de receber sua primeira percepção , e
- (b) depois do 1o movimento, com a seqüência de percepções [nada,vento,nada,nada,nada]

4				
3				
2	ok			
1	<b>A</b> ok	ok		
	1	2	3	4

4				
3				
2	ok	B?		
1	<b>CV</b> ok	v <b>A</b> ok	B?	
	1	2	3	4

**CV** - caverna visitada

# Raciocinando e Agindo no Mundo do Wumpus

- ◆ Estando em (2,2), o agente move-se para (2,3) e encontra o ouro!!!

4				
3	<b>W!</b>			
2	<b>f A</b> <b>ok</b>	<b>ok</b>		
1	<b>CV</b> <b>ok</b>	<b>v CV</b> <b>ok</b>	<b>B!</b>	
	1	2	3	4

4		B?		
3	<b>W!</b>	<b>A</b> <b>f v b</b>	B?	
2	<b>f CV</b> <b>ok</b>	<b>CV</b> <b>ok</b>		
1	<b>CV</b> <b>ok</b>	<b>CV</b> <b>v ok</b>	<b>B!</b>	
	1	2	3	4

**CV** - caverna visitada

# Mundo de Wumpus

## Tipo do ambiente

- ◆ Observável ou não?
- ◆ Determinista ou Estocástico?
- ◆ Episódico ou Não-Episódico?
- ◆ Estático ou Dinâmico ?
- ◆ Discreto ou Contínuo ?

# Mundo de Wumpus

## Tipo do ambiente

- ◆ Observável ou não-observável
- ◆ Determinista ou estocástico
- ◆ Episódico ou Não-Episódico
- ◆ Estático ou Dinâmico
- ◆ Discreto ou Contínuo

# Mundo de Wumpus

## Arquiteturas do agente

- ◆ Agente puramente reativo
- ◆ Agente reativo com estado interno (autômato)
- ◆ Agente cognitivo (baseado em objetivos)
- ◆ Agente otimizador
- ◆ Agente adaptativo

# Mundo de Wumpus

## Agente puramente reativo

### ◆ Exemplo de regra de reação

- **IF** percepçãoVisual = brilho **THEN** ação = pegar

### ◆ Limitações do agente reativo puro

- um agente ótimo deveria:
  - ◆ recuperar o ouro **ou**
  - ◆ determinar que é muito perigoso pegar o ouro **e**
  - ◆ em qualquer dos casos acima, voltar para (1,1) e sair da caverna.
- Um agente reativo nunca sabe quando parar
  - ◆ estar com o ouro e estar na caverna (1,1) não fazem parte da sua percepção (se pegou, esqueceu).
  - ◆ esses agentes podem entrar em laços infinitos.

# Mundo de Wumpus

## Agente reativo com estado interno

- ◆ Regras associando indiretamente percepção com ação pela manutenção de um modelo do ambiente
  - Ação a realizar agora depende da percepção atual + anteriores + ações anteriores...
- ◆ Motivação para guardar estado do ambiente
  - O ambiente inteiro não é acessível no mesmo momento
    - ◆ O agente só vê o interior da caverna quando esta dentro dela
  - Percepções instantâneas iguais podem corresponder a estados diferentes
    - ◆ ex. o agente sem estado interno não sabe quais são as cavernas já visitadas...



# Agente reativo com estado interno

## Tipos de regras – geral...

- ◆ Além das regras de reação
  - Sempre precisamos delas...
- ◆ Precisamos de novas regras para atualização do modelo do ambiente
  - $\text{percepção} \wedge \text{modelo} \Rightarrow \text{modelo}'$
  - $\text{modelo}' \Rightarrow \text{modelo}''$ 
    - ◆ só quando o modelo se atualiza sozinho (via inferência)
  - $\text{modelo}'' \Rightarrow \text{ação}$
  - $\text{ação} \wedge \text{modelo}'' \Rightarrow \text{modelo}'''$

# Mundo de Wumpus

## Agente reativo com estado interno

◆ Regras percepção  $\wedge$  modelo  $\Rightarrow$  modelo'

- IF percepçãoVisual no tempo T = brilho  
AND localização do agente no tempo T = (X,Y)  
THEN localização do ouro no tempo T = (X,Y)

◆ Regras modelo  $\Rightarrow$  modelo'

- IF agente está com o ouro no tempo T  
AND localização do agente no tempo T = (X,Y)  
THEN localização do ouro no tempo T = (X,Y)

# Mundo de Wumpus

## Agente reativo com estado interno

### ◆ Regras modelo $\Rightarrow$ ação

- IF localização do agente no tempo  $T = (X,Y)$   
AND localização do ouro no tempo  $T = (X,Y)$   
THEN ação escolhida no tempo  $T =$  pegar

### ◆ Regras ação $\wedge$ modelo $\Rightarrow$ modelo

- IF ação escolhida no tempo  $T =$  pegar  
THEN agente está com o ouro no tempo  $T+1$

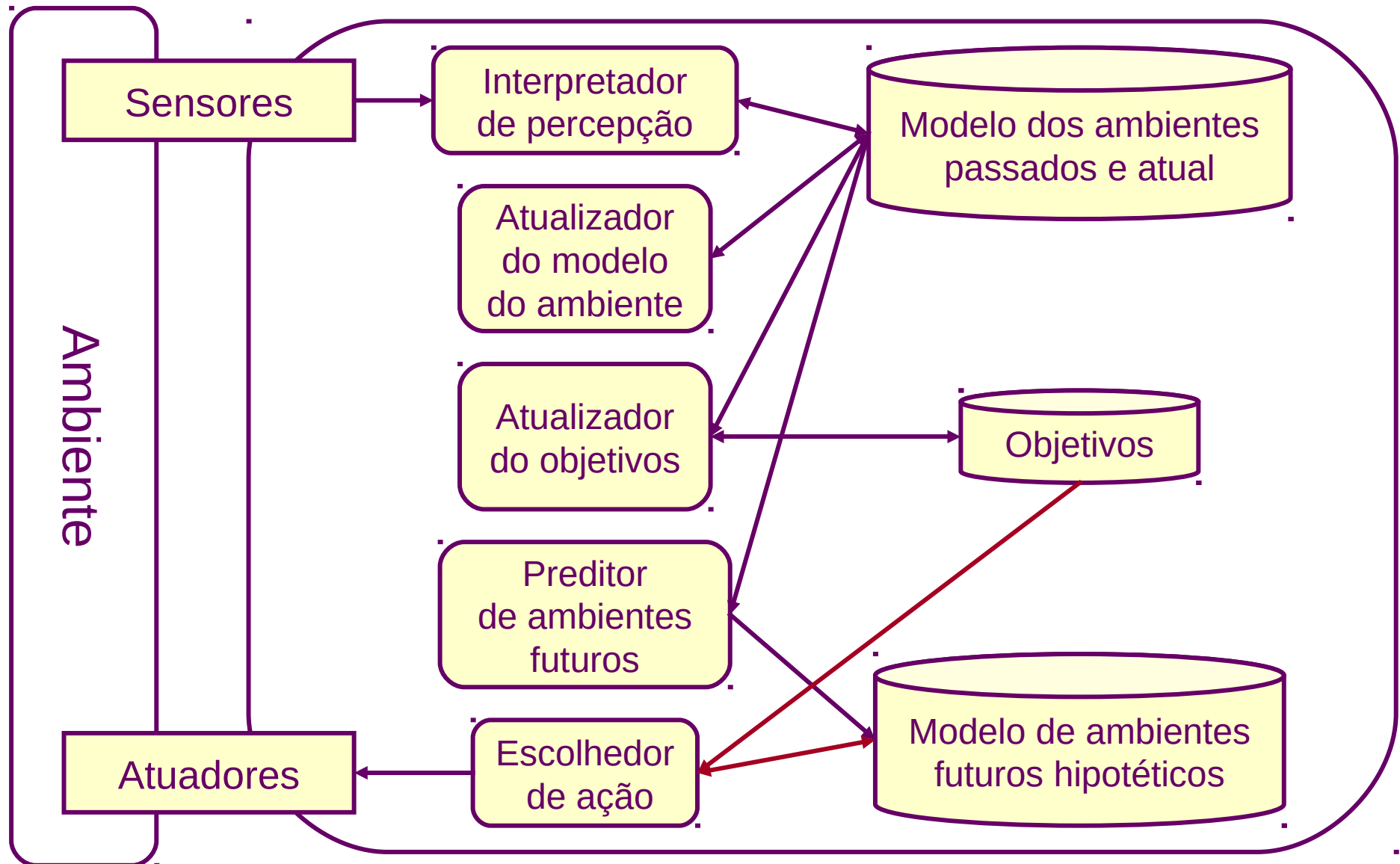
# Mundo de Wumpus

## Agente reativo com estado interno

### ◆ Desvantagens desta arquitetura:

- Oferece autonomia, mas não muita
- Não tem objetivo explícito
- Não pensa no futuro (além da ação imediata)
  - ◆ Ex. pode entrar em *loop* se as regras não forem bem projetadas

# Agente cognitivo (baseado em objetivo)



# Agente Cognitivo

## Funcionamento geral

### ◆ Associação entre percepção e ação

- Mediada por modelo do ambiente e objetivo do agente
- Pode envolver encadear regras para construir plano multi-passo necessário para atingir objetivo a partir de modelo
  - ◆ Ex. matar o Wumpus para poder atravessar a caverna onde ele esta e então pegar o ouro (objetivo)

# Agente Cognitivo

## Funcionamento geral

- ◆ Capaz de lidar com os 5 tipos de regras do agente reativo com estado interno, além de 2 novos tipos de regras:
  - Regras:  $\text{objetivo} \wedge \text{modelo} \Rightarrow \text{ação}$
  - Regras:  $\text{objetivo} \wedge \text{modelo} \Rightarrow \text{objetivo}'$
- ◆ Trata o objetivo explicitamente e pode pensar no futuro!!!!
- ◆ Porém... não trata objetivos conflitantes
  - ex. pegar o ouro pelo caminho mais curto, seguro, rápido
  - Agente baseado em utilidade (próximos capítulos...)

# Mundo de Wumpus - Agente Cognitivo

Regras objetivo  $\wedge$  modelo  $\Rightarrow$  ação - I

- ◆ O agente escolhe um caminho para o objetivo
  - IF objetivo do agente no tempo T é estar na localidade (X,Y)  
AND agente está em (X-1, Y-1) no tempo T-N  
AND sabe que localidade (X,Y-1) é segura no tempo T-N  
AND sabe que localidade (X,Y) é segura no tempo T-N  
THEN escolha ação Vá-para (X,Y) via (X,Y-1)



# Mundo de Wumpus - Agente Cognitivo

Regras objetivo  $\wedge$  modelo  $\Rightarrow$  ação - II

- ◆ O agente pode variar a escolha conforme o objetivo, como não matar o wumpus para pegar logo o ouro
  - IF objetivo do agente é pegar o ouro
    - AND agente está em (X-1, Y) no tempo T
    - AND sabe que o ouro está na localidade (X,Y)
    - AND sabe que localidade (X,Y) é segura no tempo T
    - AND sabe que o Wumpus está na localidade (X-1,Y+1) no tempo T
    - AND sabe que o agente tem uma flecha no tempo T
    - THEN escolha ação Vá-para (X,Y)

# Mundo de Wumpus - Agente Cognitivo

Regras objetivo  $\wedge$  modelo  $\Rightarrow$  objetivo'

- ◆ Se o agente queria estar com o ouro e conseguiu, atualizar objetivo para "ir para (1,1)"
  - IF objetivo do agente no tempo T é estar com o ouro no tempo T+N  
AND agente está com o ouro no tempo T+1  
THEN atualize o objetivo do agente no tempo T+1  
para objetivo = (1,1) no tempo T+M

# Formalização de Agentes Baseados em Lógica Proposicional

# Um Agente-BC Proposicional para o Mundo do Wumpus

- ◆ A Base de Conhecimento consiste em:
  - Sentenças representando as percepções do agente
  - Sentenças válidas implicadas a partir das sentenças das percepções
    - ◆ Sentença válida: verdadeira sob qualquer interpretação
  - Regras de inferência utilizadas para implicar novas sentenças a partir das sentenças existentes

# Um Agente-BC para o Mundo do Wumpus

## ◆ Símbolos:

- $A_{x-y}$  significa que “o agente está na caverna (x,y)”
- $B_{x-y}$  significa que “existe um buraco na caverna (x,y)”
- $W_{x-y}$  significa que “o Wumpus está na caverna (x,y)”
- $O_{x-y}$  significa que “o ouro está na caverna (x,y)”
- $V_{x-y}$  significa que “existe vento na caverna (x,y)”
- $f_{x-y}$  significa que “existe fedor na caverna (x,y)”
- $b_{x-y}$  significa que “existe brilho na caverna (x,y)”

# Base de Conhecimento para o Mundo do Wumpus

- ◆ Com base nas percepções do estado abaixo, o modelo do ambiente (memória de trabalho) deverá conter as seguintes sentenças:

$\neg f1-1$        $\neg v1-1$   
 $\neg f2-1$        $v2-1$   
 $f1-2$        $\neg v1-2$

4				
3	<b>W!</b>			
2	<b>f</b> <b>A</b> <b>ok</b>	<b>ok</b>		
1	<b>CV</b> <b>ok</b>	<b>v</b> <b>CV</b> <b>ok</b>	<b>B!</b>	
	1	2	3	4

**CV** - caverna visitada

# Base de Conhecimento para o Mundo do Wumpus

- ◆ O agente também tem algum conhecimento prévio sobre o ambiente, e.g.:
    - se uma caverna não tem fedor, então o Wumpus não está nessa caverna, nem está em nenhuma caverna adjacente a ela.
  - ◆ O agente terá uma regra para cada caverna no seu ambiente
- R1:  $\neg f_{1-1} \Rightarrow \neg W_{1-1} \wedge \neg W_{1-2} \wedge \neg W_{2-1}$
- R2:  $\neg f_{2-1} \Rightarrow \neg W_{1-1} \wedge \neg W_{2-1} \wedge \neg W_{2-2} \wedge \neg W_{3-1}$
- R3:  $\neg f_{1-2} \Rightarrow \neg W_{1-1} \wedge \neg W_{1-2} \wedge \neg W_{2-2} \wedge \neg W_{1-3}$

# Base de Conhecimento para o Mundo do Wumpus

- ◆ O agente também deve saber que, se existe *fedor* em (1,2), então deve haver um Wumpus em (1,2) ou em alguma caverna adjacente a ela:

$$R4: f_{1-2} \Rightarrow W_{1-3} \vee W_{1-2} \vee W_{2-2} \vee W_{1-1}$$



# Como Encontrar o Wumpus ?

- ◆ O Wumpus está em (1,3). Como provar isto?
  - O agente precisa mostrar que  $BC \Rightarrow W_{1-3}$  é uma sentença válida:

**(1)** construindo a Tabela-Verdade para a sentença

- ◆ existem 12 símbolos proposicionais na BC, então a Tabela-Verdade terá 12 colunas...

$$2^{12} = 4096$$

**(2)** usando regras de inferência!

# Lógica Proposicional: Regras de Inferência

- ◆ Modus Ponens: 
$$\frac{\alpha \Rightarrow \beta, \alpha}{\beta}$$
- ◆ E-eliminação: 
$$\frac{\alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \dots \wedge \alpha_n}{\alpha_i}$$
- ◆ E-introdução: 
$$\frac{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n}{\alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \dots \wedge \alpha_n}$$
- ◆ Ou-introdução: 
$$\frac{\alpha_i}{\alpha_1 \vee \alpha_2 \vee \dots \vee \alpha_n}$$
- ◆ Eliminação de dupla negação: 
$$\frac{\neg \neg \alpha}{\alpha}$$
- ◆ Resolução unitária: 
$$\frac{\alpha \vee \beta, \neg \beta}{\alpha}$$
- ◆ Resolução: 
$$\frac{\alpha \vee \beta, \neg \beta \vee \gamma}{\alpha \vee \gamma} \Leftrightarrow \frac{\neg \alpha \Rightarrow \beta, \beta \Rightarrow \gamma}{\neg \alpha \Rightarrow \gamma}$$

**$\alpha/\beta$  diz que a sentença  $\beta$  pode ser derivada de  $\alpha$  por inferência.**

# Como Encontrar o Wumpus - Inferência!

◆ Inicialmente, vamos mostrar que o Wumpus não está em nenhuma outra caverna, e então concluir, por eliminação, que ele está em (1,3).

1. Aplicando Modus Ponens a  $\neg f1-1$  e R1, obtemos:

$$\neg W1-1 \wedge \neg W1-2 \wedge \neg W2-1$$

2. Aplicando E-eliminação a (1), obtemos três sentenças isoladas:

$$\neg W1-1 \quad \neg W1-2 \quad \neg W2-1$$

3. Aplicando Modus Ponens a  $\neg f2-1$  e R2, e em seguida aplicando E-eliminação obtemos:

$$\neg W1-1 \quad \neg W2-1 \quad \neg W2-2 \quad \neg W3-1$$

# Como Encontrar o Wumpus - Inferência!

4. Aplicando Modus Ponens a  $f_{1-2}$  e R4, obtemos:

$$W_{1-3} \vee W_{1-2} \vee W_{2-2} \vee W_{1-1}$$

5. Aplicando Resolução Unidade, onde  $\alpha$  é  $W_{1-3} \vee W_{1-2} \vee W_{2-2}$  e  $\beta$  é  $W_{1-1}$  obtemos (do passo 2, temos  $\neg W_{1-1}$ ):

$$W_{1-3} \vee W_{1-2} \vee W_{2-2}$$

6. Aplicando Resolução Unidade, onde  $\alpha$  é  $W_{1-3} \vee W_{1-2}$  e  $\beta$  é  $W_{2-2}$  obtemos:  $W_{1-3} \vee W_{1-2}$

7. Aplicando Resolução Unidade, onde  $\alpha$  é  $W_{1-3}$  e  $\beta$  é  $W_{1-2}$  obtemos:  **$W_{1-3} !!!$**

# Transformando Conhecimento em Ações

## ◆ Objetivo

- Definir regras que relacionem o estado atual do mundo às ações que o agente pode realizar

## ◆ Ações do agente (relembrando):

- avançar para próxima caverna
- girar 90 graus à direita ou à esquerda
- pegar um objeto na mesma caverna onde o agente está
- atirar na direção para onde está olhando
  - ◆ a flecha pára quando encontra uma parede ou mata o Wumpus
- sair da caverna

# Transformando Conhecimento em Ações

## ◆ Exemplo de Regra:

- o agente está na caverna (1,1) virado para a direita, e
- o Wumpus está na caverna (2,1), então:

$$A1-1 \wedge \text{Dir} \wedge W2-1 \Rightarrow \neg \text{avançar}$$

## ◆ Com essas regras, o agente pode então perguntar à BC que ação ele deve realizar:

- devo avançar?
- devo girar para a esquerda?
- devo atirar?, etc...

# Problemas com o Agente Proposicional

- ◆ Problema: existem proposições demais a considerar
  - ex.: a regra: “não avance se o Wumpus estiver em frente a você” só pode ser representada com um conjunto de 64 regras.
    - ◆ Se o agente executar 100 passos, a BC terá 6400 regras apenas para dizer que ele não deve avançar quando o Wumpus estiver em frente a ele.
  - Assim, serão necessárias milhares de regras para definir um agente eficiente, e o processo de inferência ficará muito lento.

# Problemas com o Agente Proposicional

## ◆ Outro problema: domínios dinâmicos!

- Quando o agente faz seu primeiro movimento, a proposição **A1-1** torna-se falsa e **A2-1** torna-se verdadeira.
- Soluções???
  - ◆ não podemos apenas “apagar”  $A(1,1)$  porque o agente precisa saber onde esteve antes.
  - ◆ usar símbolos diferentes para a localização do agente a cada tempo  $T \Rightarrow$  a BC teria que ser “reescrita” a cada tempo  $T$ .



# Problemas com o Agente Proposicional

## ◆ Conclusão

- a expressividade da Lógica Proposicional é fraca demais para nos interessar
- com a **Lógica de Primeira Ordem**, 64 regras proposicionais do agente Wumpus seriam reduzidas a 1

# A seguir...

- ◆ Agente baseado em Lógica de 1ª ordem