Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

INF 1771 – Inteligência Artificial

Aula 07 – Agentes Lógicos

Edirlei Soares de Lima

<elima@inf.puc-rio.br>

visionlab visualization laboratory

Introdução

- Humanos possuem conhecimento e **raciocinam** sobre este conhecimento.

- Exemplo:

“João jogou uma **pedra** na **janela** e a **quebrou**“

- **Agentes Baseados em Conhecimento** ou **Agentes Lógicos**.

Agente Baseado em Conhecimento

- Podem lidar mais facilmente com **ambientes parcialmente** observáveis.

- O agente pode usar as suas percepções e conhecimento do mundo para **inferir aspectos ainda desconhecidos** do ambiente.

- São **flexíveis** e podem assumir novas tarefas na forma de objetivos explicitamente descritos.

Agente Baseado em Conhecimento

- O componente central de um agente baseado em conhecimento é sua **base de conhecimento**.

- A base de conhecimento é formada por um conjunto de **sentenças** expressadas através de uma **linguagem lógica** de representação de conhecimento.

- Deve ser possível adicionar novas sentenças à base e consultar o que se conhece. Ambas as tarefas podem envolver **inferência** (derivação de novas sentenças a partir de sentenças antigas).

Agente Baseado em Conhecimento

- Agente genérico baseado em conhecimento:

```
function KB-AGENT(percept) returns an action
  static: KB, a knowledge base
          t, a counter, initially 0, indicating time
  TELL(KB, MAKE-PERCEPT-SENTENCE(percept, t))
  action ← ASK(KB,MAKE-ACTION-QUERY(t))
  TELL(KB,MAKE-ACTION-SENTENCE(action, t))
  t++
  return action
end
```

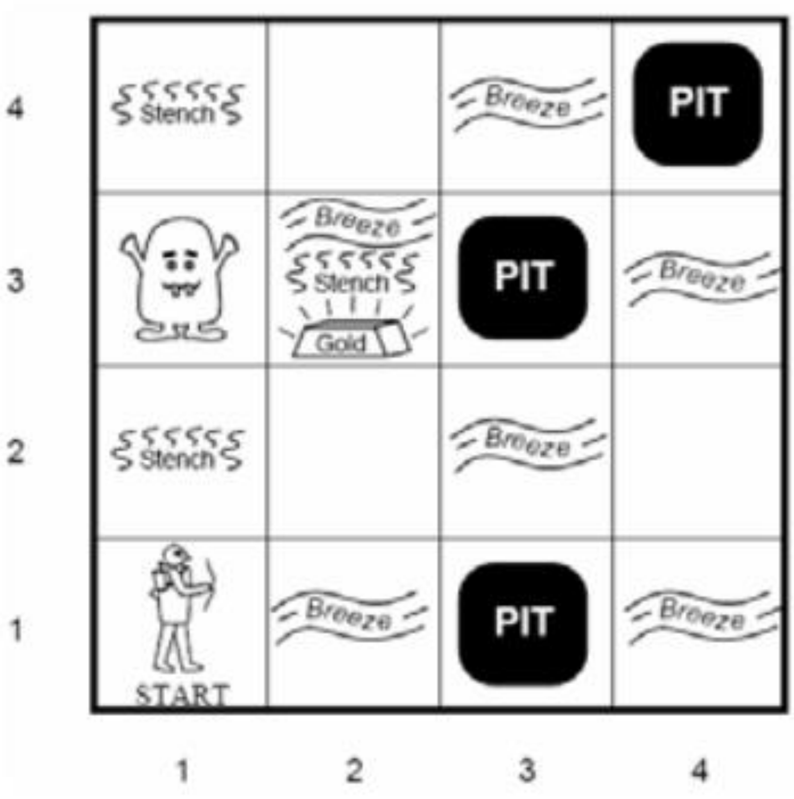
Agente Baseado em Conhecimento

- Processo de execução de um agente baseado em conhecimento:
  - **(1)** Informa a base de conhecimento o que o agente esta percebendo do ambiente.
  - **(2)** Pergunta a base de conhecimento qual a próxima ação que deve ser executada. Um extensivo processo de **raciocínio lógico** é realizada sobre a base de conhecimento para que sejam decididas as ações que devem ser executadas.
  - **(3)** Realiza a ação escolhida e informa a base de conhecimento sobre a ação que está sendo realizada.

Agente Baseado em Conhecimento

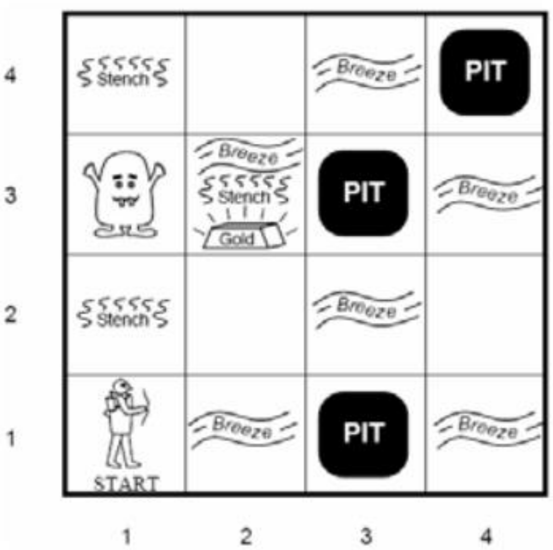
- Porque utilizar uma linguagem lógica de representação de conhecimento?
  - **Facilita a criação dos agentes**. É possível dizer o que o agente sabe através de sentenças lógicas.
  - O agente pode **adicionar** novas sentenças a sua base de conhecimento enquanto ele explora o ambiente.
  - Abordagem **declarativa** de criação de sistemas.

O Mundo de Wumpus



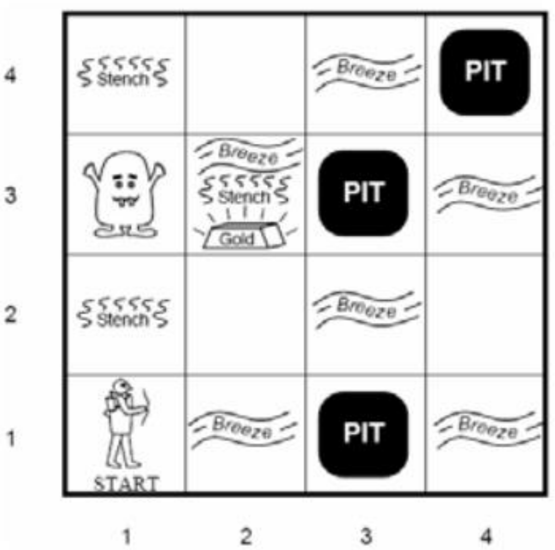
O Mundo de Wumpus

- **O ambiente contém:**
  - Salas conectadas por passagens;
  - Ouro em alguma sala;
  - Poços sem fundo nos quais cairá qualquer um que passar pela sala, exceto o Wumpus;
  - Wumpus: monstro que devora qualquer guerreiro que entrar em sua sala. O Wumpus pode ser morto pelo agente, mas o agente só tem uma flecha.



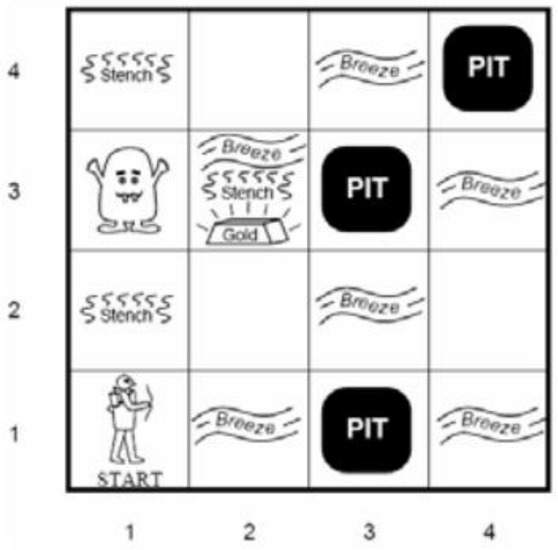
O Mundo de Wumpus

- **Medida de desempenho:** +1.000 por pegar ouro, -1.000 se cair em um poço ou for devorado pelo Wumpus, -1 para cada ação executada, -10 pelo uso da flecha.
- **Ambiente:** malha 4x4 de salas. O agente sempre começa no quadrado identificado como [1,1] voltado para a direita. As posições do Wumpus, ouro e poços são escolhidas aleatoriamente.
- **Ações possíveis:** O agente pode mover-se para frente, virar à esquerda, virar à direita, agarrar um objeto e atirar a flecha.



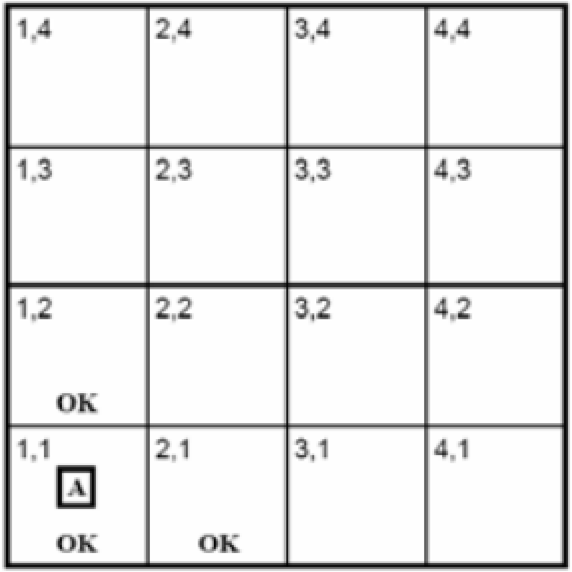
O Mundo de Wumpus

- **Sensores:**
  - Em quadrados adjacentes ao Wumpus, exceto diagonal, o agente sente o **fedor** do Wumpus;
  - Em quadrados adjacentes a um poço, exceto diagonal, o agente sente uma **brisa**;
  - Quadrados onde existe ouro o agente percebe o **brilho** do ouro;
  - Ao caminhar contra uma parede o agente sente um **impacto**;
  - Quando o Wumpus morre o agente ouve um **grito**;



O Mundo de Wumpus

- **Passo 1:**
  - **Sensores:**
  [nada, nada, nada, nada, nada]
  - **Conclusão:**
  [1,2] e [2,1] são seguros
  - **Movimento escolhido:**
  [2,1]



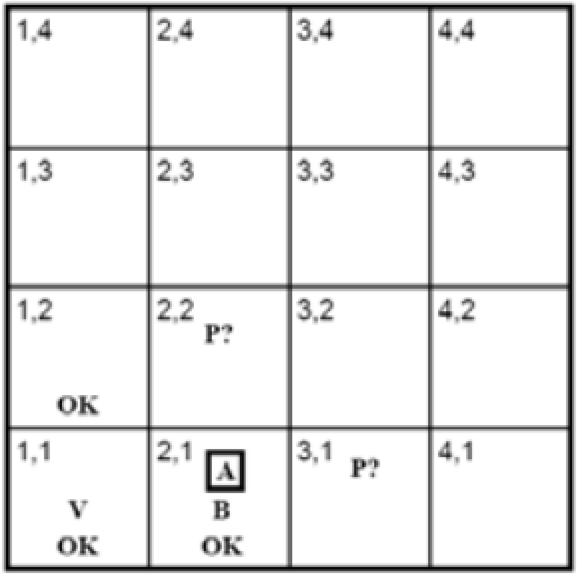
O Mundo de Wumpus

- **Passo 2:**
  - **Sensores:**

    [nada, brisa, nada, nada, nada]
  - **Conclusão:**

    Há poço em [2,2], [3,1] ou ambos
  - **Movimento escolhido:**

    [1,1] e depois [1,2]

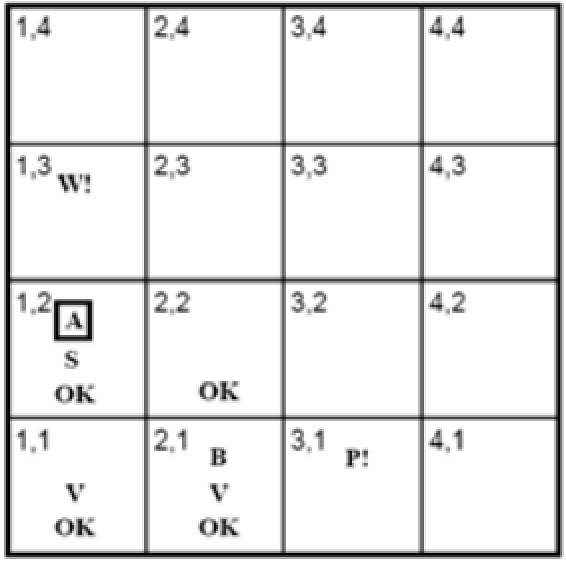


O Mundo de Wumpus

- **Passo 3:**
  - **Sensores:**
  [fedor, nada, nada, nada, nada]

  - **Conclusão:**
  Há Wumpus em [1,3] ou [2,2]
  Wumpus não pode estar em [2,2]
  Wumpus em [1,3]
  Não existe poço em [2,2]
  Poço em [3,1]
  [2,2] é seguro

  - **Movimento escolhido:**
  [2,2]



Lógica

- A base de conhecimento de um agente é formada por um conjunto de sentenças expressadas através de uma **linguagem lógica de representação de conhecimento**.

- O conceito de lógica foi organizado principalmente por Aristóteles. “É o conhecimento das formas gerais e regras gerais do pensamento correto e verdadeiro, independentemente dos conteúdos pensados”

  “Todo homem é mortal”

  “Sócrates é um homem”

  “Logo, Sócrates é mortal”

- Todo X é Y. Z é X. Portanto, Z é Y.

Tipos de Lógica

- **Lógica proposicional:** (ou lógica Booleana) lógica que representa a estrutura de sentenças usando conectivos como: "e", "ou" e "não“.
- **Lógica de predicados:** lógica que representa a estrutura de sentenças usando conectivos como: “alguns”, “todos” e “nenhum”.
- **Lógica multivalorada:** estende os tradicionais valores verdadeiro/falso para incluir outros valores como "possível“ ou um número infinito de "graus de verdade”, representados, por exemplo, por um número real entre 0 e 1.
- **Lógica modal:** o estudo do comportamento dedutivo de expressões como:“é necessário que” e “é possível que”.
- **Lógica temporal:** descreve qualquer sistema de regras e símbolos para representar e raciocinar sobre proposições qualificadas em termos do tempo.
- **Lógica paraconsistente:** lógica especializada no tratamento de bases de dados que contenham inconsistências.
- ...

Conceitos Lógica

- **Sintaxe**: especifica todas as sentenças que são bem-formadas.
  - Exemplo na aritmética: “x+y=4”, “x4y+=“.

- **Semântica**: Especifica o significado das sentenças. A verdade de cada sentença com relação a cada “mundo possível”.
  - Exemplo: a sentença “x+y=4” é verdadeira em um mundo no qual x=2 e y=2, mas é falsa em um mundo em que x=1 e y=1.

Conceitos Lógica

- **Modelo:** um “mundo possível”.
  - A frase “m é modelo de a” indica que a sentença a é verdadeira no modelo m.

- **Consequência lógica:** utilizada quando uma sentença decorre logicamente de outra.
  - Notação: a ⊨ b (b decorre logicamente de a).
  - Pode ser aplicada para derivar conclusões, ou seja, para conduzir inferência lógica.

Consequência lógica no Mundo de Wumpus

- **Base de conhecimento:**

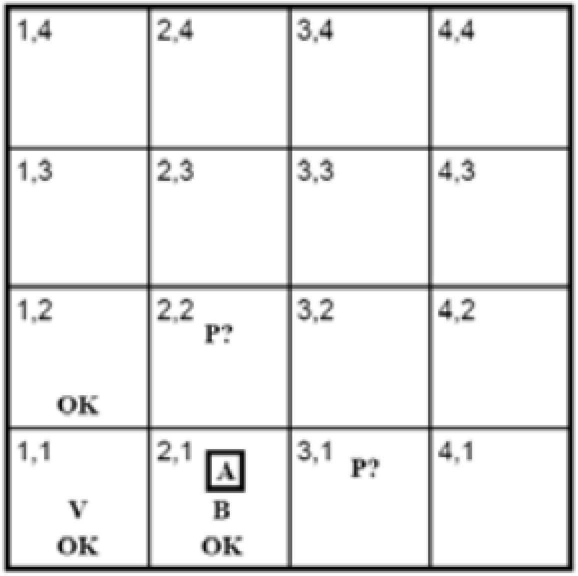
Nada em [1,1];
Brisa em [2,1];
Regras do mundo de Wumpus;

- **Interesse do agente:**

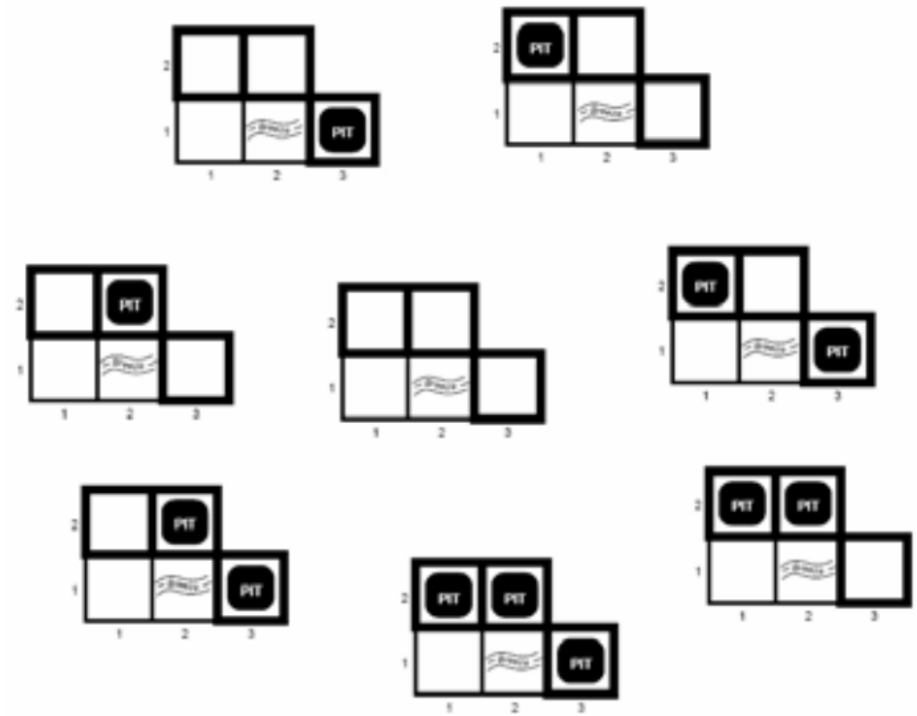
Saber se os quadrados [1,2], [2,2] e [3,1] contém poços.

- **Possíveis modelos:**

$2^3=8$

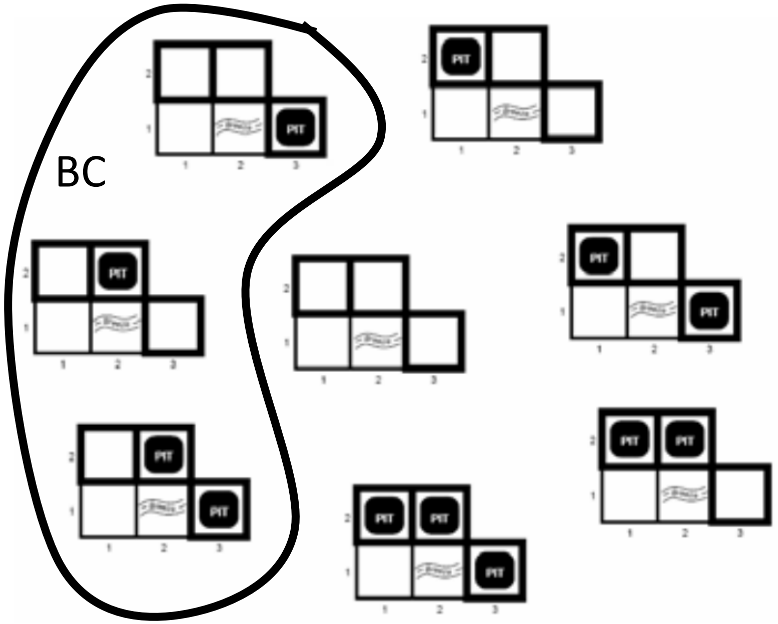


Possíveis Modelos



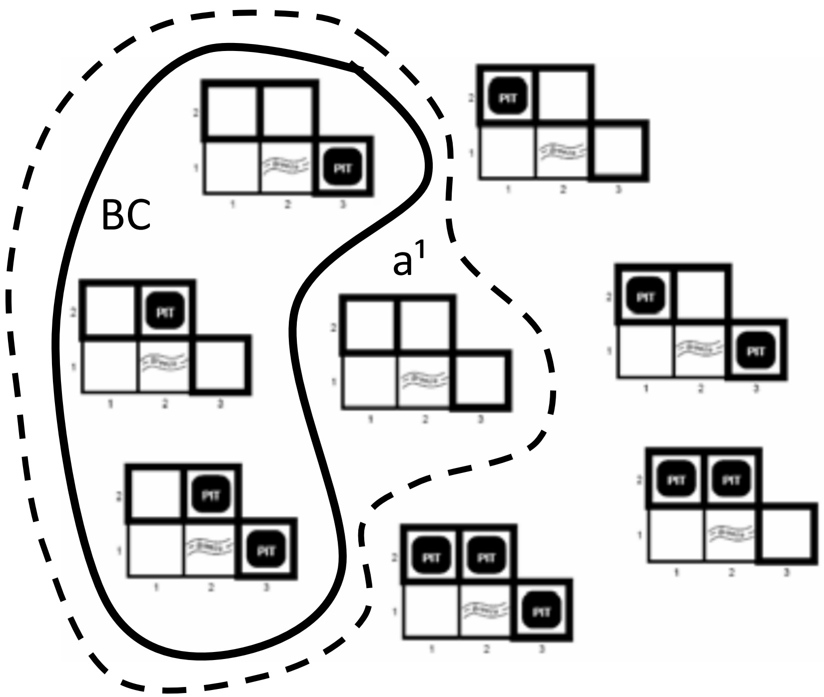
Consequência lógica no Mundo de Wumpus

- A base de conhecimento (BC) é falsa em modelos que contradizem o que o agente sabe. Nesse caso, há apenas 3 modelos em que a base de conhecimento é verdadeira:



Consequência lógica no Mundo de Wumpus

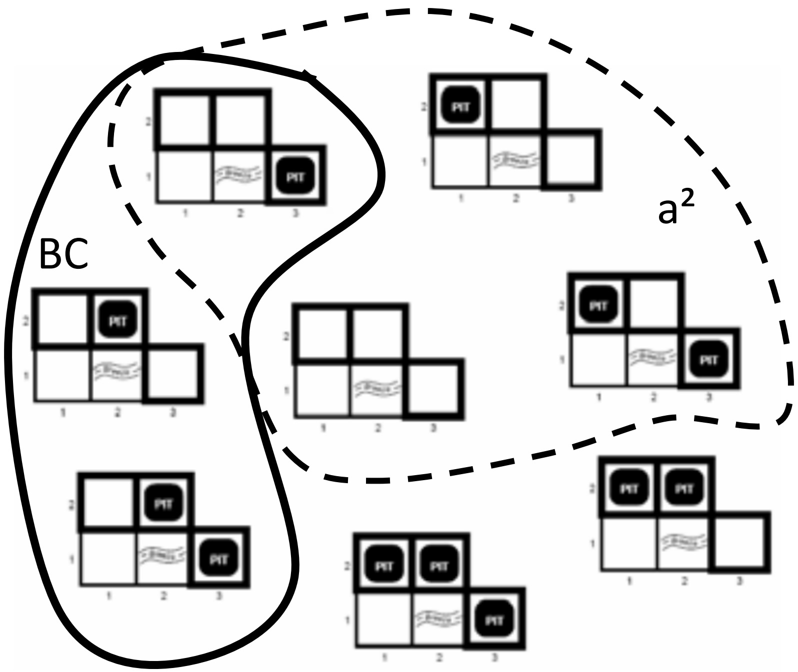
- Considerando a possível conclusão:
  - a^1 = "não existe nenhum poço em [1,2]"



É possivel afirma que $BC \models a^1$

Consequência lógica no Mundo de Wumpus

- Considerando a possível conclusão:
  - a^2 = “não existe nenhum poço em [2,2]”



É possivel afirma que
BC $\not\models a^2$

Inferência Lógica

- **O exemplo anterior:**
  - Ilustra a **consequência lógica**.
  - Mostra como a consequência lógica pode ser aplicada para produzir **inferência lógica** (derivar conclusões).
  - O algoritmo ilustrado no exemplo se chama **model checking.** Ele numera todos os possíveis modelos para checar se a é verdade em todos os modelos onde BC é verdade.

Agente Baseado em Conhecimento

- Como representar a base de conhecimento do agente?

  - Lógica Proposicional
  - Lógica de Primeira ordem
  - Outras linguagens lógicas

Lógica Proposicional

- Lógica simples.
- A sentenças são formadas por conectivos como: “e”, “ou”, “então”.
- É necessário definir:
  - **Sintaxe** (sentenças válidas).
  - **Semântica** (modo pelo qual a verdade das sentenças é determinada).
  - **Consequência lógica** (relação entre uma sentença e outra que decorre dela).
  - **Algoritmo para inferência lógica**.

Sintaxe em Lógica Proposicional

- A sintaxe da lógica proposicional define as sentenças permitidas. É formada por:
  - **Símbolos:** nomes em letras maiúsculas (P, Q, R, ...) que podem assumir verdadeiro e falso;
  - **Sentenças atômicas**: constituídas por elementos sintáticos indivisíveis (símbolo proposicional);
  - **Sentenças complexas:** são construídas a partir de sentenças mais simples com a utilização de conectivos lógicos: $\neg$ (não), $\wedge$ (e), $\vee$ (ou), $\Rightarrow$ (implica), $\Leftrightarrow$ (dupla implicação)
    - Sentença cujo principal conectivo é $\wedge$: conjunção
    - Sentença cujo principal conectivo é $\vee$: disjunção

Gramática da Lógica Proposicional

- **Sentença** → SentençaAtômica | SentençaComplexa
- S**entençaAtômica** → Verdadeiro | Falso | Símbolo
- **Símbolo** → P | Q | R | ...
- S**entençaComplexa** → ¬Sentença
  | (Sentença ∧ Sentença)
  | (Sentença ∨ Sentença)
  | (Sentença ⇒ Sentença)
  | (Sentença ⇔ Sentença)

Exempos de Sentenças Validas

- P
- Verdadeiro
- $P \land Q$
- $(P \lor Q) \Rightarrow S$
- $(P \land Q) \lor R \Rightarrow S$
- $\neg(P \lor Q)$
- $\neg(P \lor Q) \Rightarrow R \land S$

Implicação Lógica ($\Rightarrow$)

- $P \Rightarrow Q$
  - Se P é verdade então Q também é verdade.
  - Exemplo:
    - Se está chovendo então as ruas estão molhadas.

Equivalência Lógica ($\Leftrightarrow$)

- $P \Leftrightarrow Q$
  - Se P é verdade então Q também é verdade. Se Q é verdade então P também é verdade.
  - Exemplo:
    - Se dois lados de um triangulo são iguais então os dois ângulos da base do tribulo são iguais.
  - A equivalência por ser substituída por duas sentenças de implicação: $(P \Rightarrow Q) \wedge (Q \Rightarrow P)$

Semântica em Lógica Proposicional

- Descreve como calcular o valor verdade de qualquer sentença com base em um mesmo **modelo**. É necessário definir como calcular a verdade de sentenças atômicas e como calcular a verdade de sentenças formadas com cada um dos cinco conectivos ($\neg$, $\wedge$, $\vee$, $\Rightarrow$, $\Leftrightarrow$).
- **Sentenças atômicas:**
  - Verdadeiro é verdadeiro e falso é falso em todo modelo.
  - O valor-verdade de todos os outros símbolos proposicionais deve ser especificado diretamente no modelo.
- **Sentenças complexas:**
  - As regras em cada conectivo são resumidas em uma **tabela-verdade**.

Tabela-verdade para os Conectivos

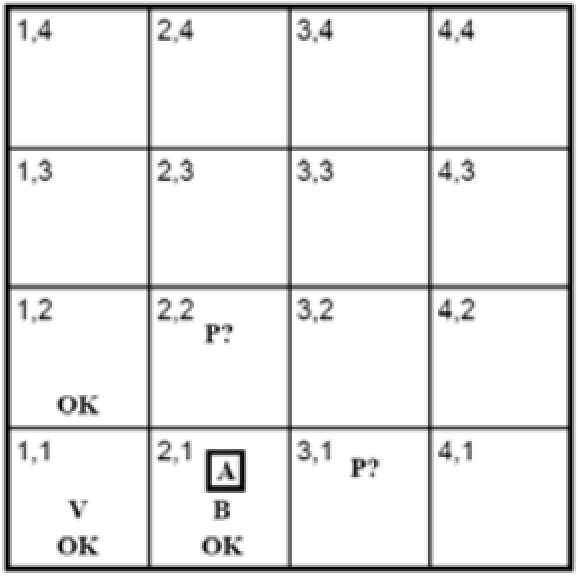
- Para os cinco conectivos lógicos apresentados, teremos:

P	Q	$\neg P$	$P \land Q$	$P \lor Q$	$P \Rightarrow Q$	$P \Leftrightarrow Q$
F	F	V	F	F	V	V
F	V	V	F	V	V *	F
V	F	F	F	V	F	F
V	V	F	V	V	V	V

- (*) Lógica proposicional não exige relação de causa e efeito entre P e Q. Deve-se entender esta relação como "se P é verdadeira, então Q é verdadeira. Caso contrário, não estou fazendo nenhuma afirmação". Exemplo:
  - "5 é ímpar implica que Tóquio é capital do Japão" (V)
  - "5 é par implica que João é inteligente" (V)

Exemplo: Mundo de Wumpus

- Vocabulário de símbolos proposicionais:
  - Seja $P_{i,j}$ verdadeiro se existe poço em [i,j]
  - Seja $B_{i,j}$ verdadeiro se existe brisa em [i,j]



Exemplo: Mundo de Wumpus

Base de Conhecimento:

R1: $\neg P_{1,1}$ — Não há poço em [1,1].

R2: $B_{1,1} \Leftrightarrow (P_{1,2} \lor P_{2,1})$

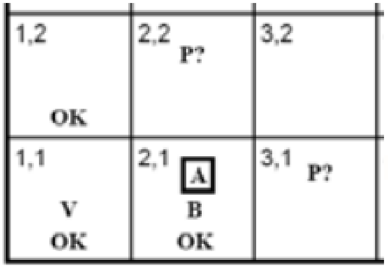
R3: $B_{2,1} \Leftrightarrow (P_{1,1} \lor P_{2,2} \lor P_{3,1})$

Um quadrado tem uma brisa se e somente se existe um poço em um quadrado vizinho (todos os quadrados devem ser declarados).

R4: $\neg B_{1,1}$

R5: $B_{2,1}$

Percepções adquiridas pelo agente do mundo em que ele se encontra.



Inferência - Mundo de Wumpus

- **Inferência**: derivação de novas sentenças a partir de sentenças antigas.

- **Objetivo**: decidir se BC $\models \alpha$ para alguma sentença α. Exemplos: $P_{1,2}$? $P_{2,2}$?

- **Algoritmo**: enumerar todos os modelos e verificar se α é verdadeira em todo modelo no qual BC é verdadeira.
  - Símbolos proposicionais relevantes:

  $B_{1,1}$, $B_{2,1}$, $P_{1,1}$, $P_{1,2}$, $P_{2,1}$, $P_{2,2}$, $P_{3,1}$

  - 7 símbolos → 2^7=128 modelos possíveis

Tabela Verdade – Mundo de Wumpus

$B_{1,1}$	$B_{2,1}$	$P_{1,1}$	$P_{1,2}$	$P_{2,1}$	$P_{2,2}$	$P_{3,1}$	R1	R2	R3	R4	R5	BC
F	F	F	F	F	F	F	V	V	V	V	F	F
F	F	F	F	F	F	V	V	V	F	V	F	F
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
F	V	F	F	F	F	F	V	V	F	V	V	F
F	V	F	F	F	F	V	V	V	V	V	V	V
F	V	F	F	F	V	F	V	V	V	V	V	V
F	V	F	F	F	V	V	V	V	V	V	V	V
F	V	F	F	V	F	F	V	F	F	V	V	F
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
V	V	V	V	V	V	V	F	V	V	F	V	F

- Em três desses modelos toda a base de conhecimento é verdadeira.
- Nesses três modelos, $\neg P_{1,2}$ é verdadeira. Dessa maneira conclui-se que **não existe poço em [1,2]**.
- $P_{2,2}$ é verdadeira em dois dos três modelos e falsa em um. Assim, **não podemos dizer ainda se existe um poço em [2,2]**.

Equivalência

- Duas sentenças α e β são logicamente equivalentes ($\alpha \Leftrightarrow \beta$) se são verdadeiras no mesmo conjunto de modelos.

$(\alpha \land \beta) \equiv (\beta \land \alpha)$ comutatividade de $\land$
$(\alpha \lor \beta) \equiv (\beta \lor \alpha)$ comutatividade de $\lor$
$(\alpha \land \beta) \land \gamma \equiv \alpha \land (\beta \land \gamma)$ associatividade de $\land$
$(\alpha \lor \beta) \lor \gamma \equiv \alpha \lor (\beta \lor \gamma)$ associatividade de $\lor$
$\neg\neg\alpha \equiv \alpha$ eliminação de dupla negação
$(\alpha \Rightarrow \beta) \equiv (\neg\beta \Rightarrow \neg\alpha)$ contraposição
$(\alpha \Rightarrow \beta) \equiv (\neg\alpha \lor \beta)$ eliminação de implicação
$(\alpha \Leftrightarrow \beta) \equiv ((\alpha \Rightarrow \beta) \land (\beta \Rightarrow \alpha))$ eliminação de bicondicional
$\neg(\alpha \land \beta) \equiv (\neg\alpha \lor \neg\beta)$ de Morgan
$\neg(\alpha \lor \beta) \equiv (\neg\alpha \land \neg\beta)$ de Morgan
$(\alpha \land (\beta \lor \gamma)) \equiv ((\alpha \land \beta) \lor (\alpha \land \gamma))$ distributividade de $\land$ sobre $\lor$
$(\alpha \lor (\beta \land \gamma)) \equiv ((\alpha \lor \beta) \land (\alpha \lor \gamma))$ distributividade de $\lor$ sobre $\land$

Padrões de Raciocínio em Logica Proposicional

- **Modus Ponens**: A partir de uma implicação e a premissa da implicação, pode-se inferir a conclusão.

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

- **Eliminação de E**: De uma conjunção, pode-se inferir qualquer um dos conjuntores.

$$\frac{\alpha \wedge \beta}{\alpha}$$

- **Resolução Unitária**: De uma disjunção, se um dos disjuntores é falso, então pode-se inferir que o outro é verdadeiro.

$$\frac{\alpha \vee \beta,\ \neg \beta}{\alpha}$$

De Volta ao Mundo de Wumpus

Base de Conhecimento:

R1: $\neg P_{1,1}$ → Não há poço em [1,1].

R2: $B_{1,1} \Leftrightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1})$

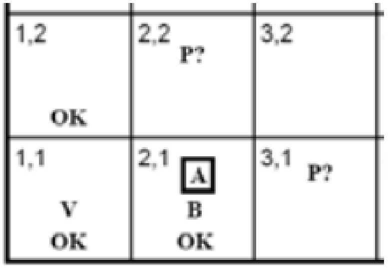
R3: $B_{2,1} \Leftrightarrow (P_{1,1} \vee P_{2,2} \vee P_{3,1})$

→ Um quadrado tem uma brisa se e somente se existe um poço em um quadrado vizinho (todos os quadrados devem ser declarados).

R4: $\neg B_{1,1}$

R5: $B_{2,1}$

→ Percepções adquiridas pelo agente do mundo em que ele se encontra.

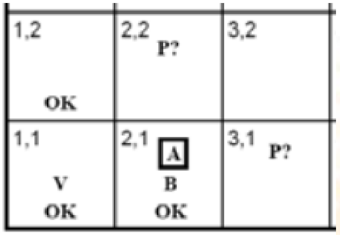


Provando $\neg P_{1,2}$ em Wumpus

- Eliminação bicondicional em **R2**:
  R2: $B_{1,1} \Leftrightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1})$
  R6: $(B_{1,1} \Rightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1})) \wedge ((P_{1,2} \vee P_{2,1}) \Rightarrow B_{1,1})$
- Eliminação de "e" em **R6**:
  R7: $(P_{1,2} \vee P_{2,1}) \Rightarrow B_{1,1}$
- Contraposição em R7:
  R8: $\neg B_{1,1} \Rightarrow \neg(P_{1,2} \vee P_{2,1})$
- Modus Ponens (**R4** + **R8**)
  R4: $\neg B_{1,1}$
  R9: $\neg(P_{1,2} \vee P_{2,1})$
- Regra de Morgan em **R9**:
  R10: $\neg P_{1,2} \wedge \neg P_{2,1}$
- Eliminação de "e" em **R10**: $\neg P_{1,2}$

De uma conjunção, pode-se inferir qualquer um dos conjuntores.

A partir de uma implicação e a premissa da implicação, pode-se inferir a conclusão.



Prova Lógica

- A aplicação de uma sequencia de regras de inferências para derivar uma conclusão é chamado de **prova lógica**.

- A aplicação de inferências logicas é uma **alternativa a enumeração de modelos** vista anteriormente.

- Como saber quais regras de inferência devem ser utilizadas?

Limitações da Lógica Proposicional

- A lógica proposicional é **simples de mais** para representar alguns problemas do mundo real.

- Em problemas complexos pode ser necessário a utilização de um **número muito grande de sentenças** para a criação de um agente realmente inteligente.

Leitura Complementar

- Russell, S. and Norvig, P. **Artificial Intelligence: a Modern Approach**, 3nd Edition, Prentice-Hall, 2009.

- **Capítulo 7: Logical Agents**