## Lógica Proposicional

- **Modelo**: qualquer mundo em que a sentença é verdadeira para alguma interpretação.
- Uma sentença $\alpha$ é consequência lógica de um KB se os modelos de KB forem todos os modelos de $\alpha$.

- Regras de inferência:

Modus ponens

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

eliminação do E

$$\frac{\alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \ldots \wedge \alpha_n}{\alpha_i}$$

Introdução do E

$$\frac{\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n}{\alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \ldots \wedge \alpha_n}$$

Introdução do OU

$$\frac{\alpha_i}{\alpha_1 \vee \alpha_2 \vee \ldots \vee \alpha_n}$$

Dupla negação

$$\frac{\neg\neg\alpha}{\alpha}$$

Modus tollens

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

Resolução

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

## Lógica Proposicional

- **Complexidade**
- Método da tabela verdade é completo: possível enumerar $2^n$ linhas para a tabela com valores T e F para qualquer prova envolvendo $n$ símbolos proposicionais.
- Tempo exponencial, mas a maioria dos problemas pode ser resolvido em tempo polinomial usando as regras de inferência.
- Característica de lógica clássica: **monotonicidade**.
- **if** $KB_1 \models \alpha$ **then** $(KB_1 \cup KB_2) \models \alpha$
- **Horn sentences** (cláusulas de Horn): possui um procedimento de inferência com tempo polinomial.

## Lógica Proposicional

- Agente para o mundo do wumpus!
- B: brisa, S: mau cheiro, W: wumpus.
- $\neg S_{1,1}, \neg S_{2,1}, S_{1,2}, \neg B_{1,1}, B_{2,1}, \neg B_{1,2}$: fatos.
- Regras:

$$R_1 : \neg S_{1,1} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}$$

$$R_2 : \neg S_{2,1} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{2,1} \wedge \neg W_{2,2} \wedge \neg W_{3,1}$$

$$R_3 : \neg S_{1,2} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,2} \wedge \neg W_{1,3}$$

$$R_4 : S_{1,2} \Rightarrow W_{1,1} \vee W_{1,2} \vee W_{1,3} \vee W_{2,2}$$

## Lógica Proposicional

- Como encontrar o wumpus?
- Tabela verdade vai ter 12 símbolos proposicionais: $S_{1,1}$, $S_{2,1}$, $S_{1,2}$, $W_{1,1}$, $W_{1,2}$, $W_{2,1}$, $W_{2,2}$, $W_{3,1}$, $W_{1,3}$, $B_{1,1}$, $B_{2,1}$, $B_{1,2}$
- $2^{12}$ entradas na tabela!
- Aplicação das regras de inferência.

## Lógica Proposicional

1. Modus Ponens sobre $\neg S_{1,1}$ $(R_1)$: $\neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}$

## Lógica Proposicional

1. Modus Ponens sobre $\neg S_{1,1}$ $(R_1)$: $\neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}$
2. Eliminação E em (1): $\neg W_{1,1}$, $\neg W_{1,2}$, $\neg W_{2,1}$

## Lógica Proposicional

1. Modus Ponens sobre $\neg S_{1,1}$ $(R_1)$: $\neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}$
2. Eliminação E em (1): $\neg W_{1,1}$, $\neg W_{1,2}$, $\neg W_{2,1}$
3. Modus Ponens sobre $\neg S_{2,1}$ $(R_2)$ e elim E: $\neg W_{1,1}$, $\neg W_{2,2}$, $\neg W_{2,1}$, $\neg W_{3,1}$

## Lógica Proposicional

1. Modus Ponens sobre $\neg S_{1,1}$ $(R_1)$: $\neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}$
2. Eliminação E em (1): $\neg W_{1,1}$, $\neg W_{1,2}$, $\neg W_{2,1}$
3. Modus Ponens sobre $\neg S_{2,1}$ $(R_2)$ e elim E: $\neg W_{1,1}$, $\neg W_{2,2}$, $\neg W_{2,1}$, $\neg W_{3,1}$
4. Modus Ponens sobre $S_{1,2}$ $(R_4)$: $W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2} \vee W_{1,1}$

## Lógica Proposicional

1. Modus Ponens sobre $\neg S_{1,1}$ $(R_1)$: $\neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}$
2. Eliminação E em (1): $\neg W_{1,1}$, $\neg W_{1,2}$, $\neg W_{2,1}$
3. Modus Ponens sobre $\neg S_{2,1}$ $(R_2)$ e elim E: $\neg W_{1,1}$, $\neg W_{2,2}$, $\neg W_{2,1}$, $\neg W_{3,1}$
4. Modus Ponens sobre $S_{1,2}$ $(R_4)$: $W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2} \vee W_{1,1}$
5. Resolução unitária com $\alpha$: $W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2}$ e $\beta$: $W_{1,1}$, obtém-se: $W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2}$

## Lógica Proposicional

1. Modus Ponens sobre $\neg S_{1,1}$ $(R_1)$: $\neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}$
2. Eliminação E em (1): $\neg W_{1,1}$, $\neg W_{1,2}$, $\neg W_{2,1}$
3. Modus Ponens sobre $\neg S_{2,1}$ $(R_2)$ e elim E: $\neg W_{1,1}$, $\neg W_{2,2}$, $\neg W_{2,1}$, $\neg W_{3,1}$
4. Modus Ponens sobre $S_{1,2}$ $(R_4)$: $W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2} \vee W_{1,1}$
5. Resolução unitária com $\alpha$: $W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2}$ e $\beta$: $W_{1,1}$, obtém-se: $W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2}$
6. Res. Unit. com $\alpha$: $W_{1,3} \vee W_{1,2}$ e $\beta$: $W_{2,2}$. Obtém-se: $W_{1,3} \vee W_{1,2}$

## Lógica Proposicional

1. Modus Ponens sobre $\neg S_{1,1}$ $(R_1)$: $\neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}$
2. Eliminação E em (1): $\neg W_{1,1}$, $\neg W_{1,2}$, $\neg W_{2,1}$
3. Modus Ponens sobre $\neg S_{2,1}$ $(R_2)$ e elim E: $\neg W_{1,1}$, $\neg W_{2,2}$, $\neg W_{2,1}$, $\neg W_{3,1}$
4. Modus Ponens sobre $S_{1,2}$ $(R_4)$: $W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2} \vee W_{1,1}$
5. Resolução unitária com $\alpha$: $W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2}$ e $\beta$: $W_{1,1}$, obtém-se: $W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2}$
6. Res. Unit. com $\alpha$: $W_{1,3} \vee W_{1,2}$ e $\beta$: $W_{2,2}$. Obtém-se: $W_{1,3} \vee W_{1,2}$
7. Res. Unit. com $\alpha$: $W_{1,3}$ e $\beta$: $W_{1,2}$.
8. Wumpus está na posição $W_{1,3}$!

## Lógica Proposicional

- Prova mostrou onde estava o wumpus, mas não mostra **ações**.
- Para as ações: $A_{1,1} \wedge East_A \wedge W_{1,2} \Rightarrow \neg Forward$, uma para cada posição e orientação possíveis.
- Lógica proposicional não responde "que ação devo tomar", mas responde:
  - "Posso mover para a frente?"
  - "Posso virar para a direita?"

## Lógica Proposicional

**function** PROPOSITIONAL-KB-AGENT(percept) **returns** an action

**static**: KB, knowledge base

t, contador, init 0, indica tempo

TELL(KB,MAKE-PERCEPT-SENTENCE(percept,t))

**for each** action in the list of possible actions **do**

**if** ASK(KB,MAKE-ACTION-QUERY(t,action)) **then**

$t \leftarrow t + 1$

**return** action

**end**

## Lógica Proposicional

- Problemas com lógica proposicional:
- muitas proposições para o quadrado 4x4.
- Ex: "não ande para a frente se o wumpus estiver na sua frente" precisa de um conj de 64 regras (16 quadrados x 4 orientações).
- não tem memória do caminho a menos que se represente uma proposição para cada instante no tempo.
- Ex: move para $A_{2,1}$ se torna verdade e $A_{1,1}$ se torna falso. Mas pode ser importante guardar o fato de que o agente esteve em $A_{1,1}$.
- problema: não sabemos o tempo que vai levar para terminar o jogo.

## Lógica Proposicional

- Exemplo de proposições adicionais:

$$A^0_{1,1} \wedge East^0_A \wedge W^0_{2,1} \Rightarrow \neg Forward^0$$
$$A^1_{1,1} \wedge East^1_A \wedge W^1_{2,1} \Rightarrow \neg Forward^1$$
$$A^2_{1,1} \wedge East^2_A \wedge W^2_{2,1} \Rightarrow \neg Forward^2$$
$$\vdots$$

- índice no topo de cada símbolo indica tempo.
- para 100 unidades de tempo: 6400 destas regras, somente para dizer: "não mova para a frente se o wumpus estiver lá".
- lógica de primeira ordem: reduz as 6400 para apenas 1!

## Lógica de Primeira Ordem

- **objetos** e **relações** entre objetos, **propriedades**, **funções**.
- Objetos: pessoas, casas, números, teorias, Cavaco Silva, cores, jogos de futebol, séculos etc.
- Relações: irmão/irmã de, parte de, maior que, tem cor, ocorreu depois, pertence etc.
- Funções: pai de, melhor amigo de, vencedor de, um mais que etc.

## Lógica de Primeira Ordem

- Ex: "quadrados vizinhos ao quadrado do wumpus têm mau cheiro".
  - Objetos: wumpus, quadrado;
  - Propriedade: mau cheiro;
  - Relação: vizinhança.
- Motivação para o uso de lógica de primeira ordem: formalismo mais estudado e melhor entendido que outras abordagens.

## Lógica de Primeira Ordem

- Sintaxe e Semântica.

$$
\begin{array}{lcl}
S & \rightarrow & AS \mid SCS \mid QVar, \ldots S \mid \neg S \mid (S) \\
AS & \rightarrow & Pred(Term, \ldots) \mid Term = Term \\
Term & \rightarrow & Func(Term, \ldots) \mid Const \mid Var \\
C & \rightarrow & \Rightarrow \mid \wedge \mid \vee \mid \Leftrightarrow \\
Q & \rightarrow & \forall \mid \exists \\
Const & \rightarrow & A \mid X_1 \mid John \ldots \\
Var & \rightarrow & a \mid x \mid s \mid \ldots \\
Pred & \rightarrow & Mother \mid LeftLegOf \mid \ldots
\end{array}
$$

## Lógica de Primeira Ordem

- **Termo**: expressão lógica que se refere a um objeto. Ex: LeftLegOf(ReiJoao).
- **Fórmulas atômicas**: representam fatos. Símbolo de predicado seguido de uma lista de termos entre parênteses. Ex:
  - Irmão(Ricardo, João)
  - Casados(Pai(Ricardo), Mãe(João))
- Convenção: P(x,y), x é P de y.
- **Sentenças complexas**:
  - Irmão(Ricardo, João)$\wedge$ Irmão(João, Ricardo)
  - MaisVelho(João, 30) $\vee$ MaisNovo(João, 30)
  - MaisVelho(João,30) $\Rightarrow \neg$ MaisNovo(João,30)

## Lógica de Primeira Ordem

- **Quantificadores**: fazem lógica de primeira ordem ser mais expressiva do que lógica proposicional. Ex:
  $\forall x\ Gato(x) \Rightarrow Mamifero(x)$.
- **Termo ground**: termo sem variáveis.
- quantificador existencial: $\exists x\ Irma(x, Spot) \wedge Gato(x)$.
- Quantif aninhados: caso mais simples
  $\forall x, y\ Pai(x, y) \Rightarrow Filho(y, x)$, equivalente a
  $\forall x \forall y\ Pai(x, y) \Rightarrow Filho(y, x)$.
- "Todos amam alguém": $\forall x \exists y\ ama(x, y)$.
- "Há alguém que é amado por todos": $\exists y \forall x\ ama(x, y)$
- ordem de utilização dos quantif importante.
- dificuldade: $\forall x\ [Gato(x) \vee (\exists x\ Irmao(Ricardo, x))]$.

## Lógica de Primeira Ordem

- Relações entre $\forall$ e $\exists$.
- $\forall x\ \neg Gosta(x, Gatos)$ é equivalente a $\neg\exists x\ Gosta(x, Gatos)$.
- "Todo mundo gosta de sorvete": $\forall x\ Gosta(x, Sorvete)$ ou $\neg\exists x\ \neg Gosta(x, Sorvete)$.
- Leis de De Morgan se aplicam a fórmulas quantificadas e não quantificadas.
- Para efeito de representação não precisamos usar quantificadores ou todos os conectivos.
- **Igualdade**: dois termos referem ao mesmo objeto.

## Extensões e Variações Notacionais

- lógica de mais alta ordem: quantificação feita em cima de funções além de objetos. Ex:
  - $\forall x, y\ (x = y) \Leftrightarrow (\forall p\ p(x) \Leftrightarrow p(y))$
  - $\forall f, g\ (f = g) \Leftrightarrow (\forall x\ f(x) = g(x))$
- Outras extensões: leitura para casa!
- Variações notacionais: leitura para casa!

## Lógica de Primeira Ordem

- Utilizando lógica de primeira ordem: bancos de dados, prova de teoremas, manipulação de conjuntos.
- Ex: conjuntos.
  - $\forall s\ Set(s) \Leftrightarrow (s = EmptySet) \vee (\exists x, s_2\ Set(s_2) \wedge s = AdJoin(x, s_2))$
  - $\neg\exists x, s\ AdJoin(x, s) = EmptySet$
  - $\forall x, s\ Member(x, s) \Leftrightarrow s = AdJoin(x, s)$
  - Notação especial usada para conjuntos: [], [x], [x,y], [x,y|l].

## Lógica de Primeira Ordem

- Perguntando e recebendo respostas: TELL e ASK.
- sentenças adicionadas com TELL: assertivas.
- sentenças perguntadas com ASK: consultas ou objetivos.
- respostas podem "instanciar" variáveis: substituições e listas de "bindings".

## Lógica de Primeira Ordem

- Agente lógico para o mundo do wumpus.
- três tipos de agentes: **reflexos**, **baseados em modelo** e **baseados em objetivos**.
- 1o. passo: definir a interface com o mundo externo
- sentença (interface) típica:
  Percept([Maucheiro,Brisa,Brilho,N,N],5), onde:
  - arg1: percebe ou não percebe mau cheiro,
  - arg2: percebe ou não percebe brisa,
  - arg3: percebe ou não percebe brilho,
  - arg4: percebe ou não percebe parede,
  - arg5: percebe ou não percebe grito (wumpus sendo morto).
- Ações: Turn(Right), Turn(Left), Forward, Shoot, Grab, Release, Climb.

## Lógica de Primeira Ordem

- Um agente reflexo simples.
- $\forall s, b, u, c, t\ P([s, b, Brilho, u, c], t) \Rightarrow Action(Grab, t)$
- $\forall b, g, u, c, t\ P([MauCheiro, b, g, u, c], t) \Rightarrow MauCheiro(t)$
- $\forall s, g, u, c, t\ P([s, Brisa, g, u, c], t) \Rightarrow Brisa(t)$
- $\forall s, b, u, c, t\ P([s, b, Brilho, u, c], t) \Rightarrow Ouro(t)$
- $\forall t\ AtOuro(t) \Rightarrow Action(Grab, t)$

## Lógica de Primeira Ordem

- Limitações de um agente reflexo:
  - não faz parte da percepção deste tipo de agente saber onde está ou se está com o ouro.
  - é incapaz de evitar "loops". Ex: assuma que o agente conseguiu pegar o ouro e está no caminho de volta para casa. Se passar novamente pelo mesmo quadrado visitado na ida, entra em loop.
  - problema: não está representado neste agente o fato dele estar carregando o ouro e a situação ser diferente da situação da ida.
- precisa de *representação de modificações* no mundo.

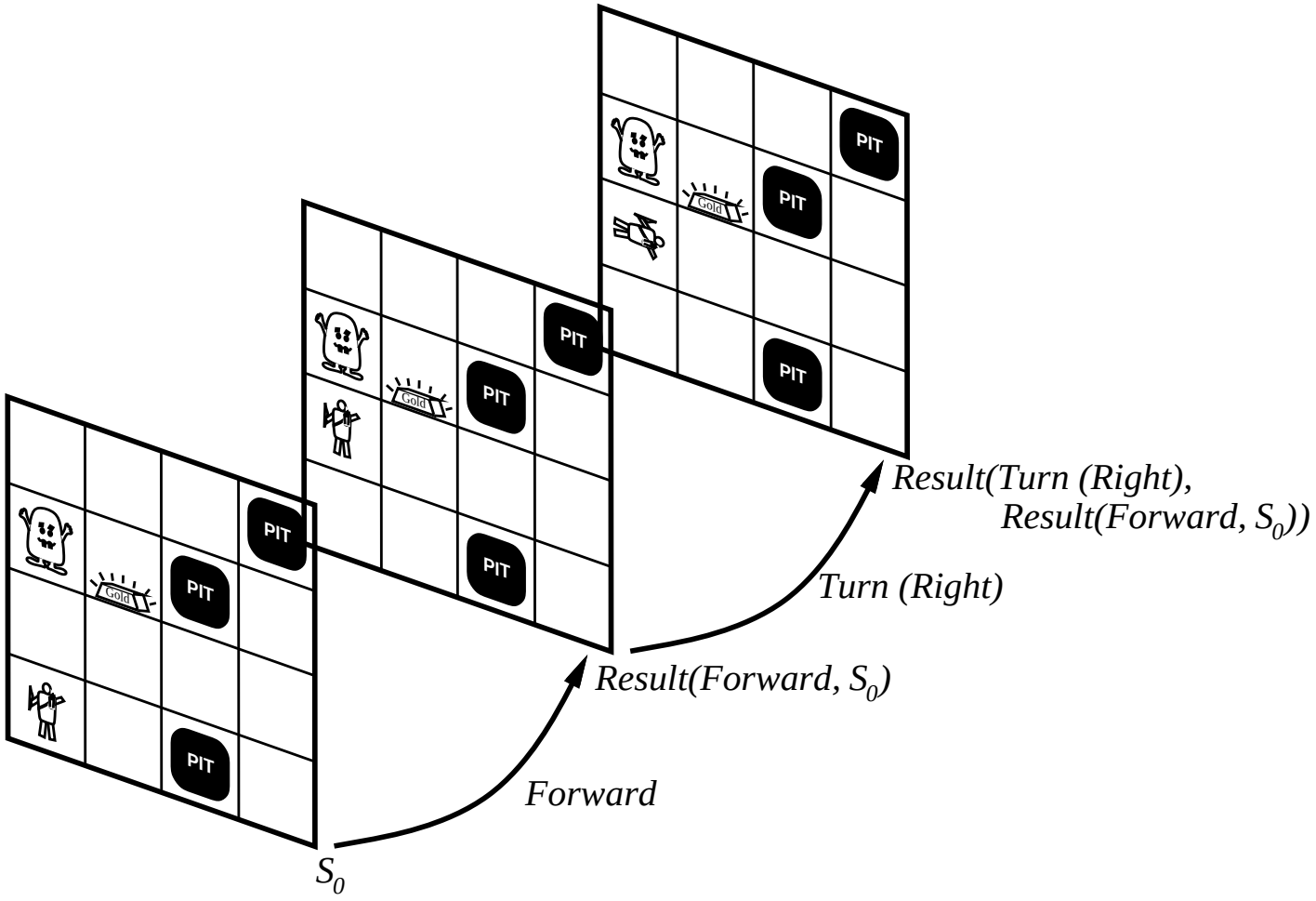
## Lógica de Primeira Ordem

- **Representação de modificações**: uma das áreas mais importantes em representação do conhecimento.
- regras *diacrônicas*.
- representação de *situações* e *ações* não é diferente de representação de objetos e relações.
- *Cálculo de Situações*: forma de descrever modificações em lógica de primeira ordem.

## Lógica de Primeira Ordem

- Considera o mundo como uma sequência de **situações**.
- formato: At(Agente,posição,situação). Ex:
  $At(Agent, [1,1], S_0) \wedge At(Agent, [1,2], S_1)$
- cálculo de situações utiliza $Result(action, situation)$ para representar a situação decorrente da execução de uma ação em situação anterior.
- Ex:
  - $Result(Forward, S_0) = S_1$,
  - $Result(Turn(Right), S_1) = S_2$,
  - $Result(Forward, S_2) = S_3$

# Lógica de Primeira Ordem



## Lógica de Primeira Ordem

- Ações: são descritas através de seus efeitos: *axiomas de efeito*.
- $Portable(Ouro)$
- $\forall s\ AtOuro(s) \Rightarrow Present(Ouro, s)$
- $\forall x, s\ Present(x, s) \wedge Portable(x) \Rightarrow$
  $Holding(x, Result(Grab, s))$
- $\forall x, s\ \neg Holding(x, Result(Release, s))$
- não suficiente para saber se o agente está segurando o ouro ou continua segurando o ouro.

## Lógica de Primeira Ordem

- necessário: regras para dizer se o mundo continuou o mesmo.
- $\forall a, x, s\ Holding(x, s) \wedge (a \neq Release) \Rightarrow Holding(x, Result(a, s))$
- $\forall a, x, s\ \neg Holding(x, s) \wedge (a \neq Grab \vee \neg(Present(x, s) \wedge Portable(x)) \Rightarrow \neg Holding(x, Result(a, s))$
- *axiomas de frame*.
- combinação de axiomas de efeito e de frame:

  verdadeiro posteriormente

  $\Leftrightarrow$ [uma ação fez ser verdadeiro $\vee$ já era verdadeiro antes]

## Lógica de Primeira Ordem

- $\forall a, s, x\ Holding(x, Result(a, s)) \Leftrightarrow [(a = Grab \wedge Present(x, s) \wedge Portable(x)) \vee (Holding(x, s) \wedge a \neq Release)]$
- *axioma do estado sucessor*.
- necessário para cada predicado que pode mudar seu valor no decorrer do tempo.

## Lógica de Primeira Ordem

- Localização do agente.
  - qual é a sua direção: N, S, O, L?
  - Convenção:
    - 0 graus anda p/ direita ou esquerda,
    - 90 graus anda p/ baixo ou p/ cima.

## Lógica de Primeira Ordem

- Como as posições são mapeadas?
  - $\forall x, y\ LocationToward([x, y], 0) = [x + 1, y]$
  - $\forall x, y\ LocationToward([x, y], 90) = [x, y + 1]$
  - $\forall x, y\ LocationToward([x, y], 180) = [x - 1, y]$
  - $\forall x, y\ LocationToward([x, y], 270) = [x, y - 1]$
  - do mapa é possível dizer se um quadrado está diretamente à frente do agente:
    - $\forall p, l, s\ At(p, l, s) \Rightarrow LocationAhead(p, s) = LocationToward(l, Orientation(p, s))$
    - adjacência:
      $\forall l_1, l_2\ Adj(l_1, l_2) \Leftrightarrow \exists d\ l_1 = LocationToward(l_2, d)$

## Lógica de Primeira Ordem

- O que as ações devem fazer com as posições?
  - $\forall a, d, p, s\ At(p, l, Result(a, s)) = d \Leftrightarrow [(a = Forward \wedge l = LocationAhead(p, s) \wedge \neg Wall(l)) \vee (At(p, l, s) \wedge a \neq Forward)]$
- O que as ações devem fazer com as orientações?
  - $\forall a, d, p, s\ Orientation(p, Result(a, s)) = d \Leftrightarrow [(a = Turn(Right) \wedge d = Mod(Orientation(p, s) - 90, 360)) \vee (a = Turn(Left) \wedge d = Mod(Orientation(p, s) + 90, 360)) \vee (Orientation(p, s) = d \wedge \neg(a = Turn(Right) \vee a = Turn(Left)))]$
  - Além disso deve saber o q fazer quando está com o ouro e se o wumpus está vivo ou morto (descrição de *Shoot*).

## Lógica de Primeira Ordem

- Dedução de "propriedades escondidas".
  - $\forall l, s\ At(Agent, l, s) \wedge\ Brisa(s) \Rightarrow Fresco(l)$
  - $\forall l, s\ At(Agent, l, s) \wedge\ MauCheiro(s) \Rightarrow MauCheiroso(l)$
- Regras *sincrônicas* para relacionar propriedades de um estado ao mesmo estado.
  - *Causais* (sistemas baseados em modelos):
    - $\forall l_1, l_2, s\ At(Wumpus, l_1, s) \wedge Adj(l_1, l_2) \Rightarrow MauCheiroso(l_2)$
    - $\forall l_1, l_2, s\ At(Buraco, l_1, s) \wedge Adj(l_1, l_2) \Rightarrow Fresco(l_2)$
  - *Diagnósticas* (sistemas baseados em diagnósticos):
    - $\forall l, s\ At(Agent, l, s) \wedge\ Brisa(s) \Rightarrow Fresco(l)$
    - $\forall l, s\ At(Agent, l, s) \wedge\ MauCheiro(s) \Rightarrow MauCheiroso(l)$
    - $\forall l_1, s\ MauCheiroso(l_1) \Rightarrow (\exists l_2\ At(Wumpus, l_2, s) \wedge (l_2 = l_1 \vee Adj(l_1, l_2))$

## Lógica de Primeira Ordem

- $\forall x, y, g, u, c, s\ Percept([N, N, g, u, c], t) \wedge\ At(Agent, x, s) \wedge Adj(x, y) \Rightarrow OK(y)$ (regra fraca).
- $\forall x, t(\neg\ At(Wumpus, x, t) \wedge \neg\ Buraco(x)) \Leftrightarrow OK(x)$ (regra mais forte).
- Conclusão: se os axiomas descrevem *completamente* e *corretamente* a forma como o mundo opera e a forma como as percepções são produzidas, então o procedimento de inferência vai inferir a melhor descrição possível de estados no mundo dadas as percepções.

## Lógica de Primeira Ordem

- Prioridades para as ações: dada uma determinada situação, podemos escolher entre várias ações.
- $\forall a, s\ Great(a, s) \Rightarrow Action(a, s)$
- $\forall a, s\ Good(a, s) \wedge (\neg \exists b\ Great(b, s)) \Rightarrow Action(a, s)$
- $\forall a, s\ Medium(a, s) \wedge (\neg \exists b\ Great(b, s) \vee\ Good(b, s)) \Rightarrow Action(a, s)$
- $\forall a, s\ Risky(a, s) \wedge (\neg \exists b\ Great(b, s) \vee\ Good(b, s) \vee Medium(b, s)) \Rightarrow Action(a, s)$
- sistemas que usam este tipo de regra: *action-value*.

## Lógica de Primeira Ordem

- Descrições anteriores não dizem nada sobre as ações. Apenas classificam as ações.
- ações do tipo Great consistem em pegar o ouro quando este for encontrado e pular para fora da caverna com o ouro.
- ações do tipo Good consistem em mover para uma posição que é OK, mas que não foi ainda visitada.
- ações do tipo Medium consistem em mover para uma posição que está OK, mas que já foi visitada.
- ações do tipo Risky consistem em mover para uma posição em que não se conhece a situação.

## Lógica de Primeira Ordem

- Agente baseado em Objetivos: tenta alcançar os objetivos.
- uma vez que o ouro foi encontrado, a política de movimentação na caverna muda radicalmente: devemos voltar à posição inicial o mais rápido possível.
- $\forall s\ Holding(Ouro, s) \Rightarrow GoalLocation([1,1], s)$
- três formas de encontrar uma sequência de passos que levem a algum objetivo:
  - Inferência
  - Busca (pe, best-first search)
  - Planning: sistemas de raciocínio orientados para ações.