

# Planejamento II

## Planejamento de Ordem Parcial



**Sistemas Inteligentes**

**Profa. Josiane**

**setembro/2006**

# Planejamento de Ordem Parcial

---

- Busca para frente e busca para trás
  - Busca de planos totalmente ordenados
  - Não tiram proveito da decomposição do problema
  
- Planejamento de ordem parcial
  - Funciona de forma independente sobre vários subobjetivos
  - Resolve com diversos subplanos e depois os combina
  - Flexibilidade para trabalhar primeiro em ações “óbvias” ou “importantes”
  - Estratégia de adiar uma escolha durante a busca é chamada de **estratégia de compromisso mínimo**

# Exemplo dos sapatos e meias

---

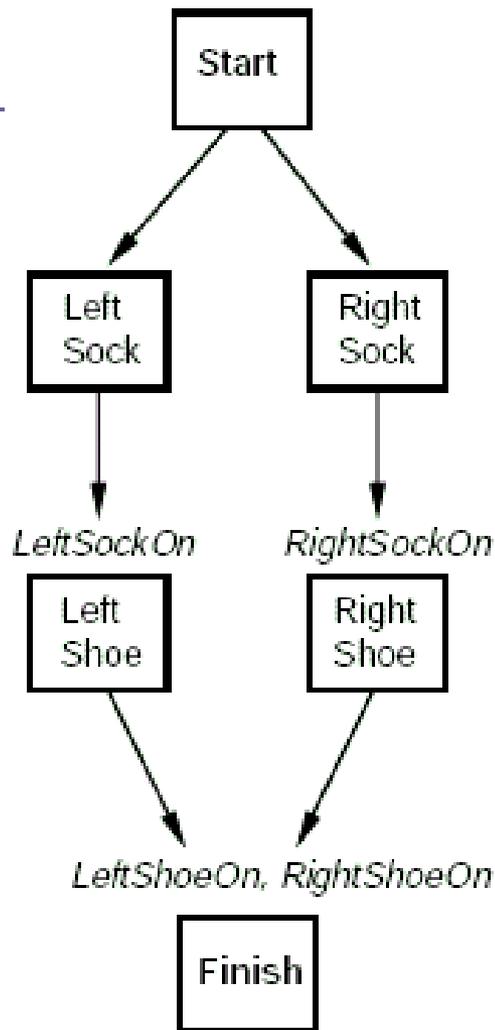
- Considere o exemplo: **Calçar os sapatos**
  - **Estado inicial:** ()
  - **Objetivo:** (SapatoDireitoCalçado  $\wedge$  SapatoEsquerdoCalçado)
  - **Ações:**
    - Ação(SapatoDireito, PRECOND:MeiaDireitaCalçada, EFFECT:SapatoDireitoCalçado)
    - Ação(MeiaDireita, EFFECT:MeiaDireitaCaçada)
    - Ação(SapatoEsquerdo, PRECOND:MeiaEsquerdaCalçada, EFFECT:SapatoEsquerdoCalçado)
    - Ação(MeiaEsquerda, EFFECT:MeiaEsquerdaCaçada)

# Planejador de Ordem Parcial

---

- É qualquer algoritmo de planejamento que possa inserir duas ações em um plano sem especificar qual delas deve ser executada primeiro
- Deve ser capaz de apresentar a seqüencia de duas ações:
  - MeiaDireita seguida por SapatoDireito para alcançar o primeiro elemento da conjunção (SapatoDireitoCalçado) e
  - MeiaEsquerda seguida por SapatoEsquerdo para alcançar o segundo elemento da conjunção (SapatoEsquerdoCalçado)
  - Em seguida as duas seqüências podem ser combinadas para gerar o plano final

Partial-Order Plan:



Total-Order Plans:



# Planejamento de Ordem Parcial

---

- Pode ser implementado como uma busca no espaço de planos de ordem parcial (planos)
- Começamos com um plano vazio
- Aprimoramos o plano até obtermos um plano de completo que resolve o problema
- Ações não são ações no mundo mas ações sobre planos:
  - Adicionar um passo ao plano
  - Impor uma ordenação que coloque uma ação antes da outra
  - ...
- Estados serão planos (em sua maioria não concluídos)

# Estrutura de um plano

---

- Cada plano tem quatro componentes:
  - Um conjunto de *passos* do plano
    - Cada passo é um operador para o problema
    - O plano vazio tem apenas os passos *Iniciar* e *Terminar*
    - *Iniciar* não tem precondições e seu efeito é o estados inicial
    - *Terminar* não tem efeitos e sua precondição é o estado objetivo
  - Um conjunto de *restrições de ordenação* deste passos.
    - Cada restrição é dada da forma  $A < B$  (A antes de B mas não necessariamente imediatamente antes dela)
    - Devem descrever uma ordem parcial adequada
    - As restrições  $A < B$  e  $B < A$  formam um ciclo (contradição)

# Estrutura de um plano

---

- Um conjunto de *links causais*
  - Um *link causal*  $A \dashrightarrow^x B$  significa que  $A$  alcança  $x$  para  $B$
  - $x$  deve permanecer verdadeira a partir do momento da ação  $A$  até o momento da ação  $B$
  - O plano não pode ser estendido adicionando-se uma ação  $C$  que esteja em conflito com o link causal
- Um conjunto de *precondições abertas*
  - Uma precondição está aberta se ela não é alcançada por nenhuma ação do plano
  - O trabalho dos planejadores é reduzir o número de condições abertas até o conjunto vazio, sem introduzir uma contradição

# Exemplo de Estrutura de um plano

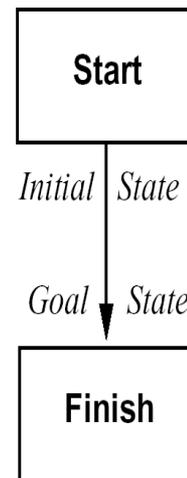
- Um plano inicial consiste de um problema não solucionado, contendo dois passos *Iniciar* e *Terminar*.
- Para o problemas dos sapatos/meias, um plano inicial pode ser escrito da seguinte maneira:

Ações: {*Iniciar*, *Terminar*}

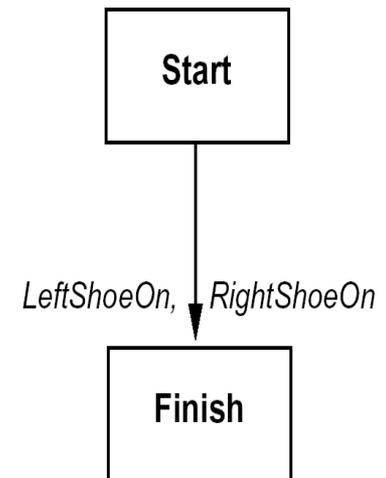
Ordenações: { *Iniciar* < *Terminar* }

Vínculos: { }

Precondições abertas: { }



(a)



(b)

# Exemplo Estrutura

---

Ações: {*MeiaDireita*, *SapatoDireito*, *MeiaEsquerda*, *SapatoEsquerdo*,  
*Iniciar*, *Terminar*}

Ordenações: {*MeiaDireita* < *SapatoDireito*, *MeiaEsquerda* <  
*SapatoEsquerdo*}

Vínculos: {*MeiaDireita* -*MeiaDireitaCalçada*- > *SapatoDireito*,  
*MeiaEsquerda* -*MeiaEsquerdaCalçada*- > *SapatoEsquerdo*,  
*SapatoDireito* -*SapatoDireitoCalçado*- > *Terminar*,  
*SapatoEsquerdo* -*SapatoEsquerdoCalçado*- > *Terminar*}

Precondições abertas: {}.

# Soluções

---

- Uma **solução** é um plano **completo** e **consistente**.
- Um plano é **completo** quando todas as precondições de um passo são completadas por algum passo anterior.
  - A alcança a precondição  $x$  do passo B se:
    - $A < B$  e  $x \in \text{EFEITOS}(A)$
    - Não existe C no qual  $(\neg x) \in \text{EFEITOS}(C)$  onde  $A < C < B$
- Um plano é **consistente** quando não existe contradições nas restrições de ordenação ou de instanciação
  - Exemplo de contradição:  $A < B$  e  $B < A$ , ou  $v=A$  e  $v=B$

# Problema de busca para um POP

---

## □ Plano inicial contém:

- *Iniciar e Terminar*
- A restrição  $Iniciar < Terminar$
- Nenhum vínculo causal
- Todas as precondições de *Terminar* estão abertas

## □ Função sucessor:

- Escolhe aleatoriamente uma precondição aberta  $x$  e uma ação  $B$
- Gera um plano consistente para todo modo possível de escolher uma ação  $A$  que alcance  $x$

# Problema de busca para um POP

---

- A consistência é imposta da seguinte maneira:
  - Adiciona o link causal  $A \overset{x}{-} > B$  e a restrição de ordenação  $A < B$
  - Resolve conflitos entre o novo link causal e todas as ações existentes
    - Um conflito  $A \overset{x}{-} > B$  e  $C$  é resolvido fazendo  $C$  ocorrer antes de  $A$  ou depois de  $C$  (adiciona-se  $B < C$  ou  $C < A$ )
- Teste de objetivo verifica se o conjunto de precondições abertas está vazio

# Problema da troca de pneu

---

**Inicio**(Em(Furado; Eixo)  $\wedge$  Em(Estepe; PortaMalas))

**objetivo** (Em(Estepe; Eixo))

**Ação**(Remover(Estepe; PortaMalas),  
PRECOND: Em(Estepe; PortaMalas)  
EFFECT:  $\neg$ Em(Estepe; PortaMalas)  $\wedge$  Em(Estepe; fora) )

**Ação**(Remover(Furado; Eixo),  
PRECOND: Em(Furado; Eixo)  
EFFECT:  $\neg$ Em(Furado; Eixo)  $\wedge$  Em(Furado; Fora))

**Ação**(Montar(Estepe; Eixo),  
PRECOND: Em(Estepe; Fora)  $\wedge$   $\neg$ Em(Furado; Eixo)  
EFFECT:  $\neg$ Em(Estepe; Fora)  $\wedge$  Em(Estepe; Eixo) )

**Ação**(DeixarDuranteNoite,  
PRECOND:  
EFFECT:  $\neg$ Em(Estepe; Fora)  $\wedge$   $\neg$ Em(Estepe; Eixo)  $\wedge$   
 $\neg$ Em(Estepe; PortaMalas)  $\wedge$   $\neg$ Em(Furado; Fora)  $\wedge$   $\neg$ Em(Furado; Eixo) ) <sup>14</sup>

# Plano Parcial

---

Iniciar

$\text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo}) \wedge \text{Em}(\text{Estepe}, \text{PortaMalas})$

**$\text{Em}(\text{Estepe}, \text{Eixo})$**

Terminar

# Passos possíveis

---

DeixarDuranteNoite

$\neg \text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo}) \wedge$

$\neg \text{Em}(\text{Furado}, \text{Fora}) \wedge$

$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Eixo}) \wedge$

$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora}) \wedge$

$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{PortaMalas})$

$\text{Em}(\text{Estepe}, \text{PortaMalas})$

Remove(Estepe, PortaMalas)

$\text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora}) \wedge \neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{PortaMalas})$

$\neg \text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo}) \wedge \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora})$

Montar(Estepe, Eixo)

$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora}) \wedge \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Eixo})$

$\text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo})$

Remove(Furado, Eixo)

$\text{Em}(\text{Furado}, \text{Fora}) \wedge \neg \text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo})$

# Plano Parcial

---

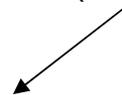
Iniciar

$\text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo}) \wedge \text{Em}(\text{Estepe}, \text{PortaMalas})$

$\neg \text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo}) \wedge \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora})$

Montar(Estepe, Eixo)

$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora}) \wedge \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Eixo})$



$\text{Em}(\text{Estepe}, \text{Eixo})$

Terminar

# Passos possíveis

---

DeixarDuranteNoite

$\neg \text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo}) \wedge$

$\neg \text{Em}(\text{Furado}, \text{Fora}) \wedge$

$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Eixo}) \wedge$

$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora}) \wedge$

$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{PortaMalas})$

$\text{Em}(\text{Estepe}, \text{PortaMalas})$

Remove(Estepe, PortaMalas)

$\text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora}) \wedge \neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{PortaMalas})$

$\neg \text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo}) \wedge \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora})$

Montar(Estepe, Eixo)

$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora}) \wedge \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Eixo})$

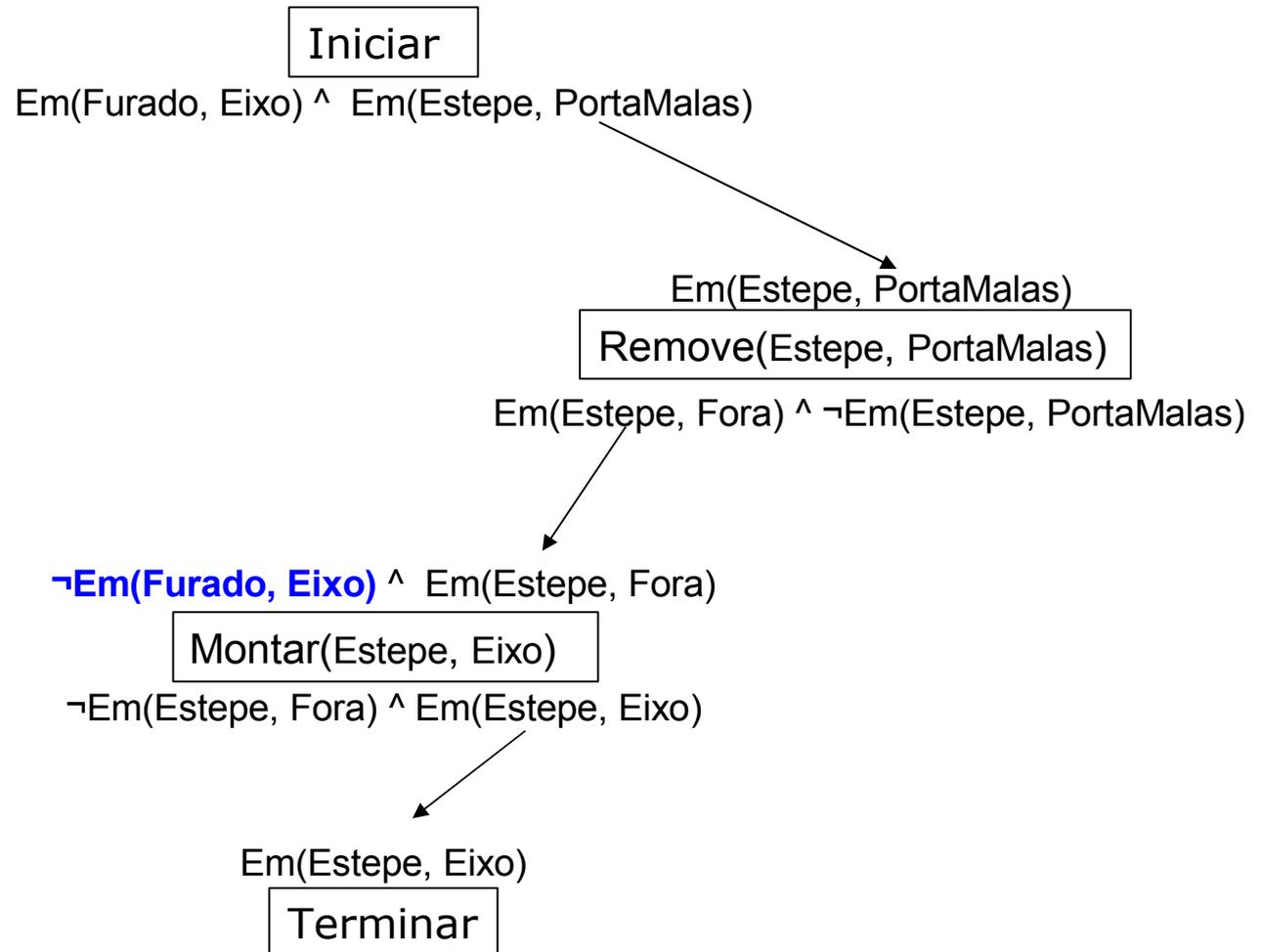
$\text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo})$

Remove(Furado, Eixo)

$\text{Em}(\text{Furado}, \text{Fora}) \wedge \neg \text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo})$

# Plano Parcial

---



# Passos possíveis

---

DeixarDuranteNoite

$\neg \text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo}) \wedge$

$\neg \text{Em}(\text{Furado}, \text{Fora}) \wedge$

$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Eixo}) \wedge$

$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora}) \wedge$

$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{PortaMalas})$

$\text{Em}(\text{Estepe}, \text{PortaMalas})$

Remove(Estepe, PortaMalas)

$\text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora}) \wedge \neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{PortaMalas})$

$\neg \text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo}) \wedge \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora})$

Montar(Estepe, Eixo)

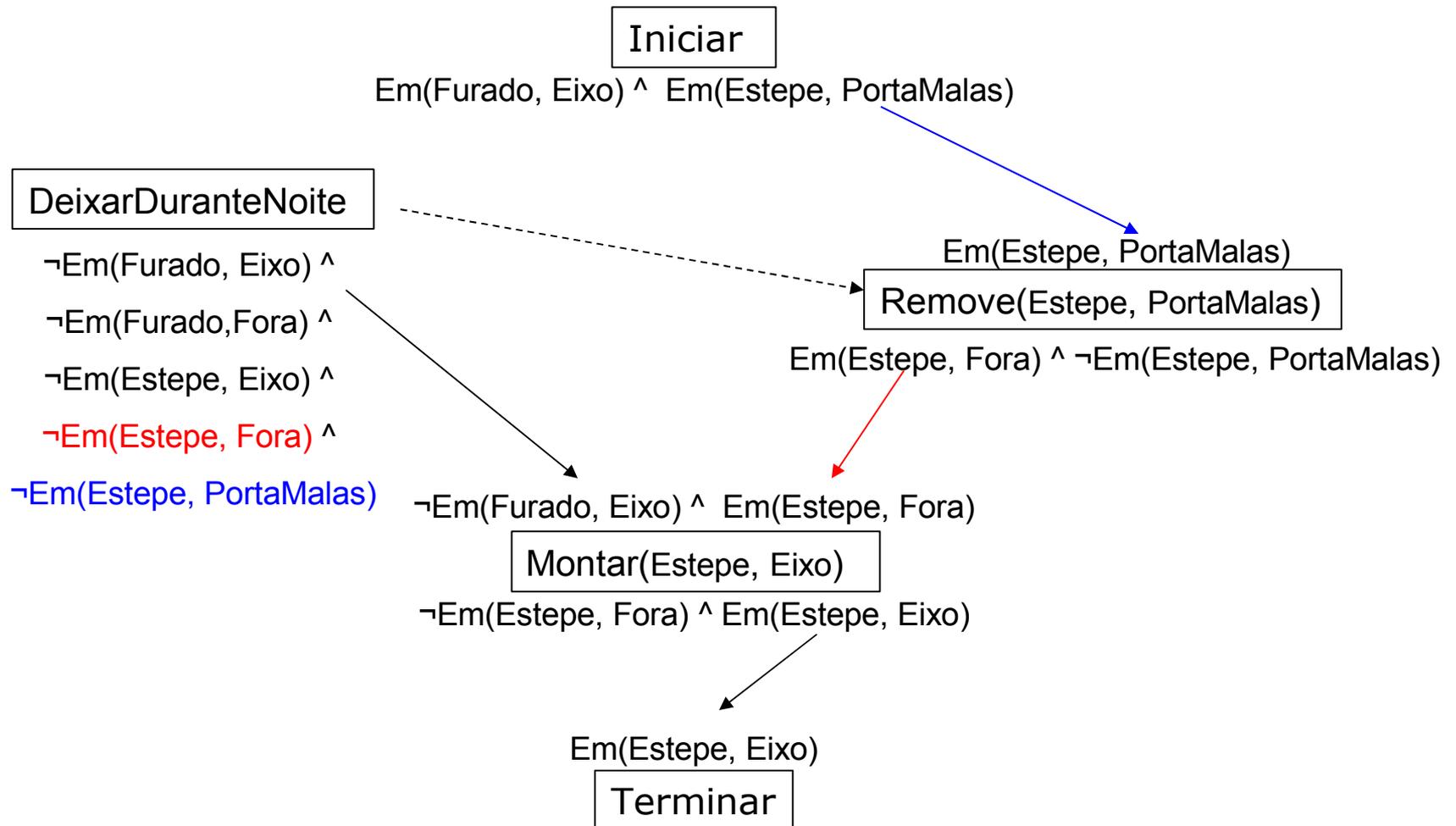
$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora}) \wedge \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Eixo})$

$\text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo})$

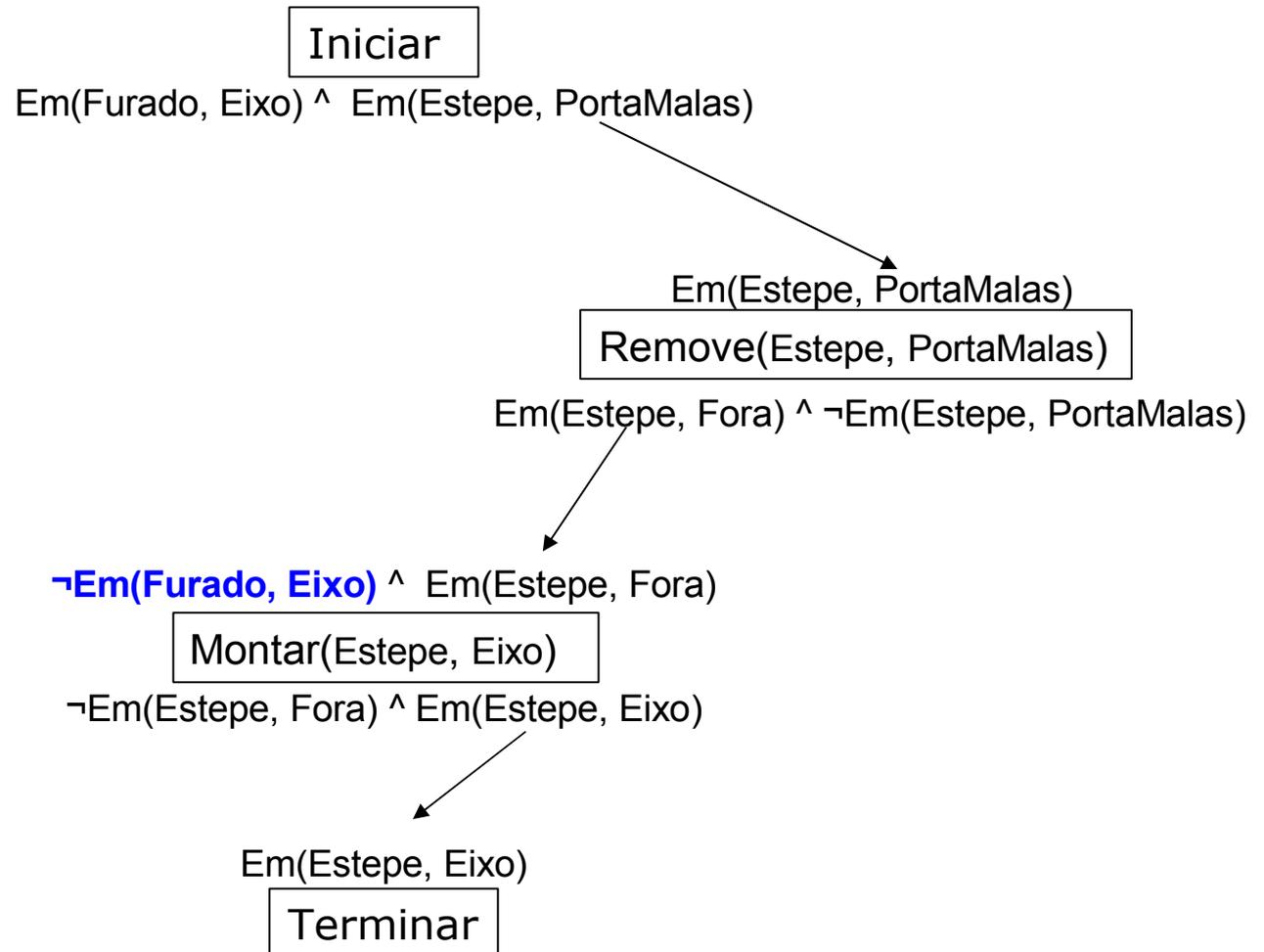
Remove(Furado, Eixo)

$\text{Em}(\text{Furado}, \text{Fora}) \wedge \neg \text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo})$

# Plano Parcial



# Plano Parcial



# Passos possíveis

---

DeixarDuranteNoite

$\neg \text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo}) \wedge$

$\neg \text{Em}(\text{Furado}, \text{Fora}) \wedge$

$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Eixo}) \wedge$

$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora}) \wedge$

$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{PortaMalas})$

$\text{Em}(\text{Estepe}, \text{PortaMalas})$

Remove(Estepe, PortaMalas)

$\text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora}) \wedge \neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{PortaMalas})$

$\neg \text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo}) \wedge \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora})$

Montar(Estepe, Eixo)

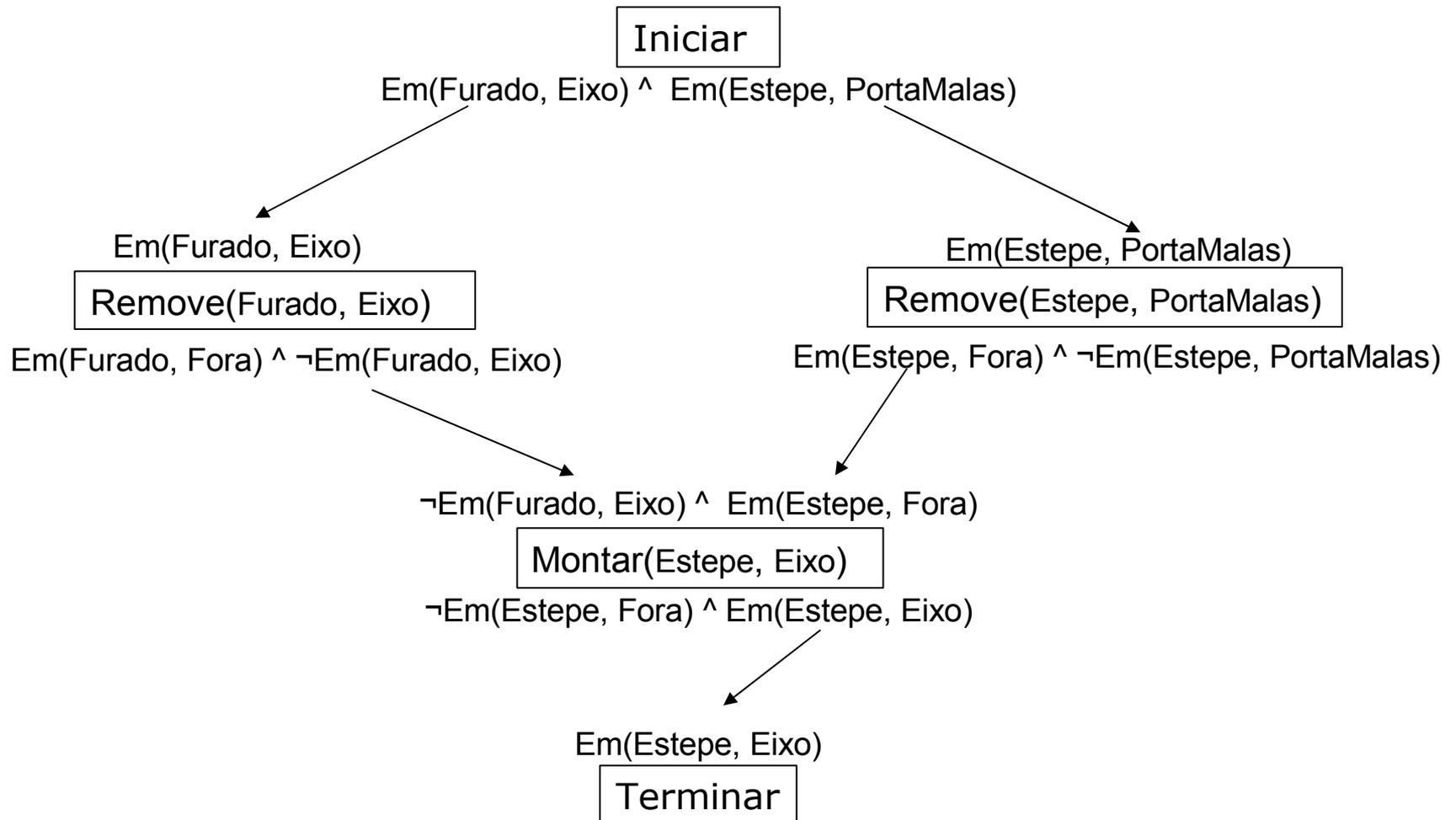
$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora}) \wedge \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Eixo})$

$\text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo})$

Remove(Furado, Eixo)

$\text{Em}(\text{Furado}, \text{Fora}) \wedge \neg \text{Em}(\text{Furado}, \text{Eixo})$

# Plano Parcial



# POP com variáveis não acopladas

---

- Representações de ações de primeira ordem que incluem variáveis

- Exemplo do mundo de blocos:

- Precondição aberta  $Sobre(A, B)$  e a ação

**Ação**( $Mover(b, x, y)$ ,

PRECOND:  $Sobre(b, x) \wedge Livre(b) \wedge Livre(y)$ ,

EFFECT:  $Sobre(b, y) \wedge Livre(x) \wedge \neg Sobre(b, x) \wedge \neg Livre(y)$  )

- A ação alcança  $Sobre(A, B)$  porque o efeito  $Sobre(b, y)$  se unifica com ela por meio da substituição  $\{b/A, y/B\}$

**Ação**( $Mover(A, x, B)$ ,

PRECOND:  $Sobre(A, x) \wedge Livre(A) \wedge Livre(B)$ ,

EFFECT:  $Sobre(A, B) \wedge Livre(x) \wedge \neg Sobre(A, x) \wedge \neg Livre(B)$  )

# POP com variáveis não acopladas

---

- $x$  é uma variável não acoplada
- Podemos retardar a escolha do valor de  $x$  até que algum outro passo do plano determine este valor
  - Esperar por mais informações antes de escolher o valor de  $x$ 
    - É frequentemente mais eficiente que tentar todo valor possível de  $x$
    - E efetuar o retrocesso para cada valor que falhar
- Exemplo, se tivermos  $\text{Sobre}(A, D)$  no estado inicial
  - A ação *Iniciar* pode ser utilizada para alcançar a precondição  $\text{Sobre}(A, x)$  de  $\text{Mover}(A, x, B)$
  - Então a escolha do valor de  $x$  é feita para  $\{x/D\}$

# POP com variáveis não acopladas

---

## □ Variáveis nas precondições

- Complica a detecção e resolução de conflitos
- Ex: Quando  $\text{Mover}(A, x, B)$  for adicionada ao plano, precisaremos de um vínculo causal
- $\text{Mover}(A, x, B) \text{ } \neg\text{Sobre}(A, B) \text{ } \rightarrow \text{Terminar}$
- Outra ação  $M_2$  com o efeito  $\neg\text{Sobre}(A, z)$  somente estará em conflito se  $\{z/B\}$
- Podemos representar esta restrição de desigualdade como  $z \neq X$ 
  - $z$  poderá ser instanciada com qualquer valor exceto  $B$

# POP para variáveis não acopladas

---

- Exemplo: Iremos considerar o problema da obter "leite, banana e um liquidificador".
- O **estado inicial**:  
**Ação**(*Start*,  
EFFECT:*At(Home)^Sells(HWS,Drill)^Sells(SM,Milk)^Sells(SM,Banana)*)
- O **estado final**:  
**Ação**(*Finish*,  
PRECOND:*At(Home)^Have(Drill)^Have(Milk)^Have(Banana)*)

# POP para variáveis não acopladas

## Problema da vitamina

---

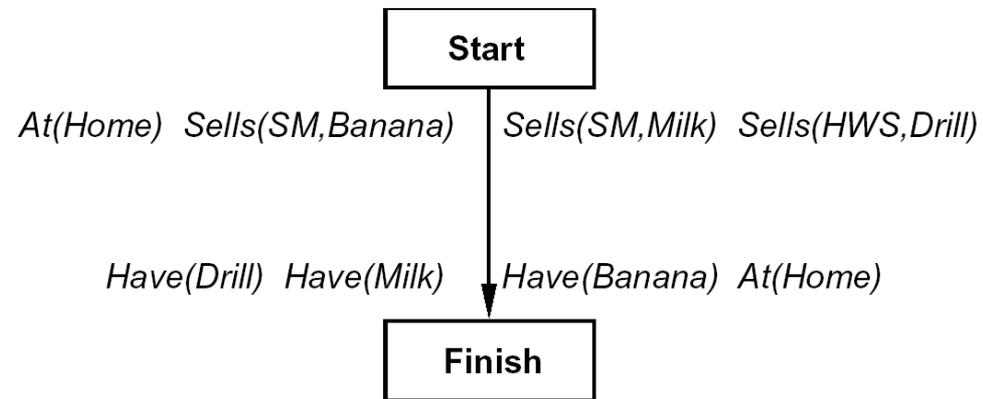
- As **ações** possíveis:

**Ação**(*Go(there)*,  
PRECOND: *At(there)*,  
EFFECT: *At(there) ^ ¬At(there)* )

**Ação**(*Buy(x)*,  
PRECOND: *At(store) ^ Sells(store,x)*,  
EFFECT: *Have(x)* )

# Plano inicial

---



# Para a precondição Have(Drill)

Start

$At(Home) \wedge Sells(HWS,Drill) \wedge Sells(SM,Ban.) \wedge Sells(SM,Milk)$

$At(x) \wedge Sells(x,Drill)$

Buy(Drill)

Have(Drill)

$At(x) \wedge Sells(x,Ban.)$

Buy(Ban.)

Have(Ban.)

$At(x) \wedge Sells(x,Milk)$

Buy(Milk)

Have(Milk)

$At(x)$

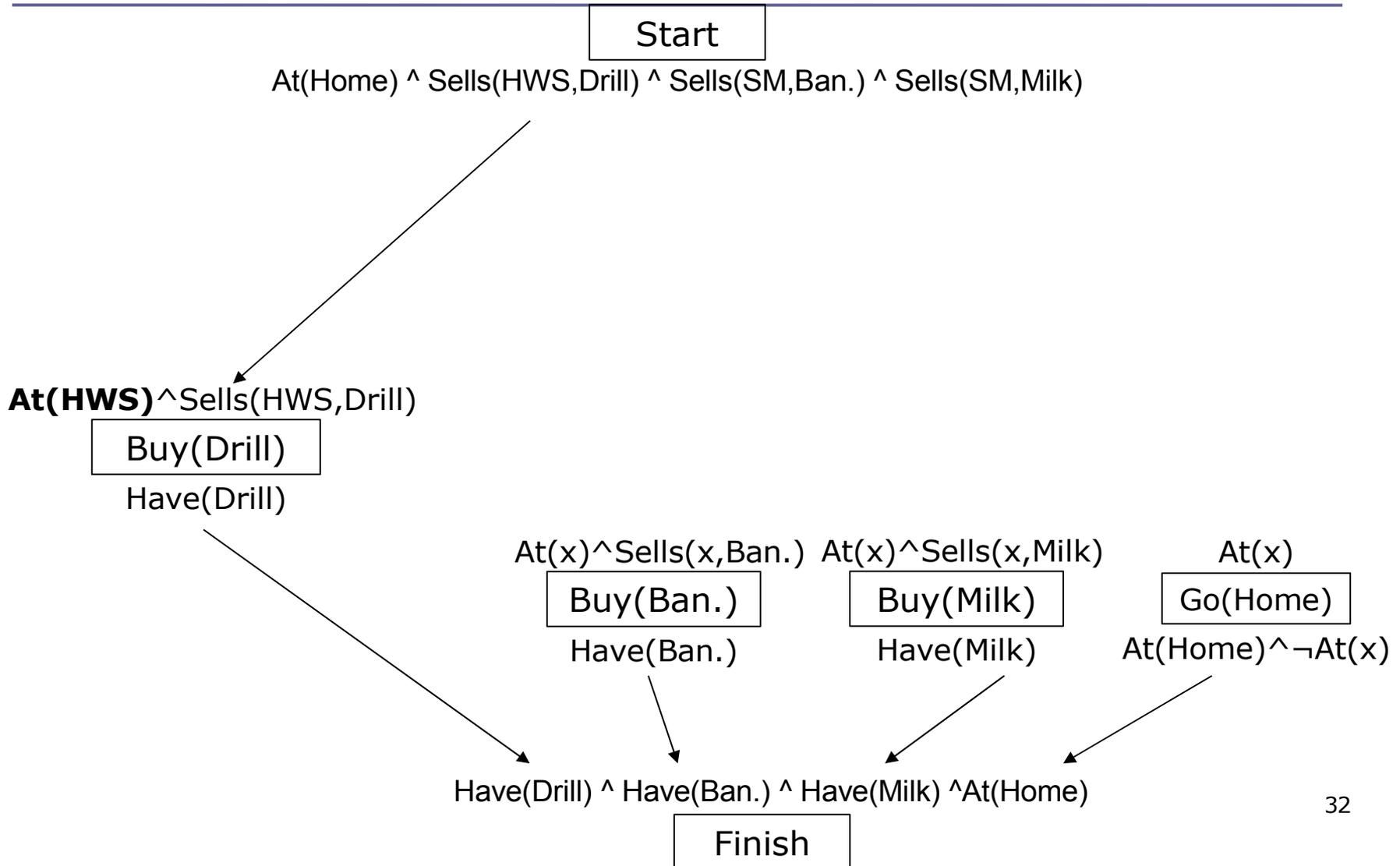
Go(Home)

$At(Home) \wedge \neg At(x)$

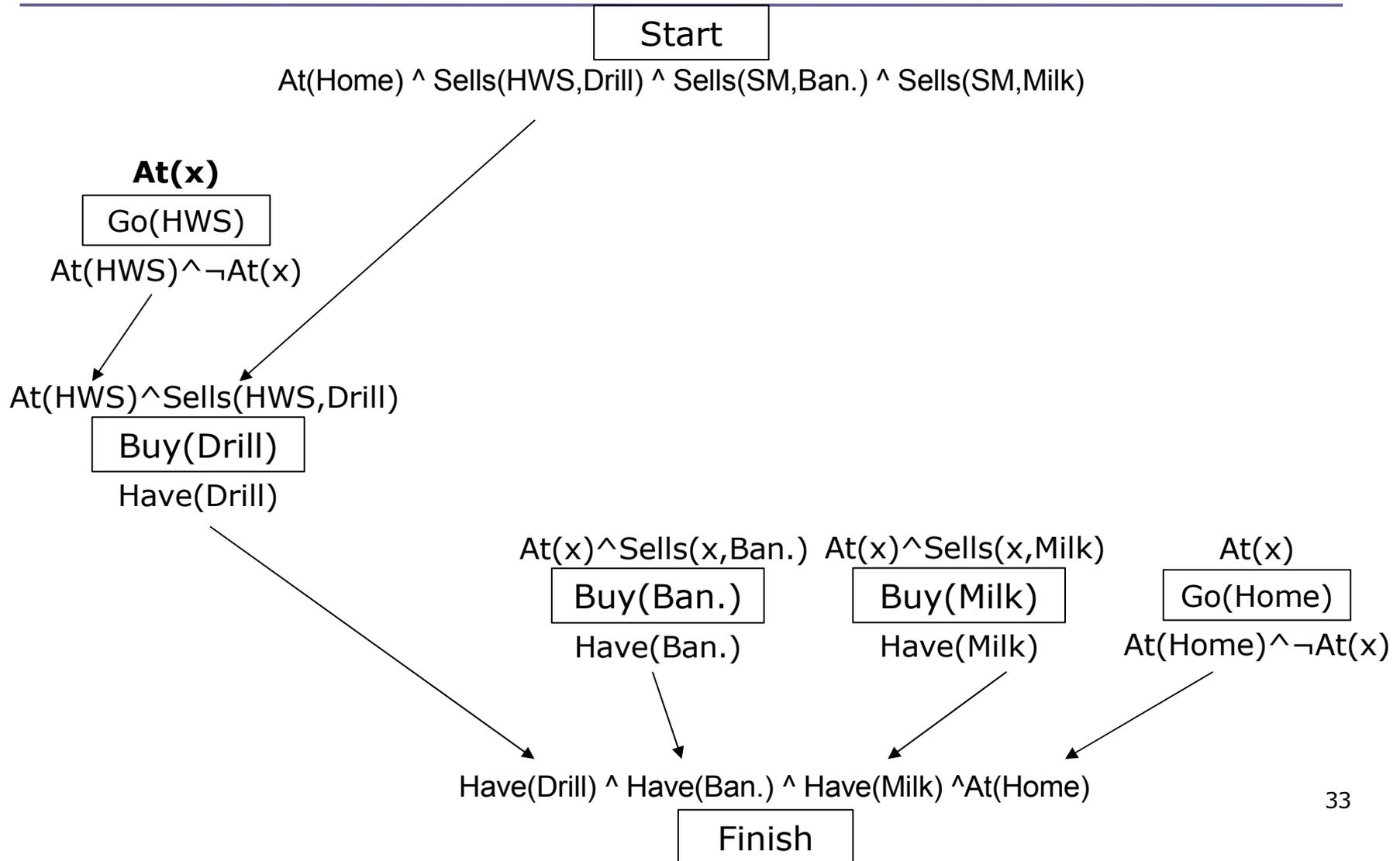
$Have(Drill) \wedge Have(Ban.) \wedge Have(Milk) \wedge At(Home)$

Finish

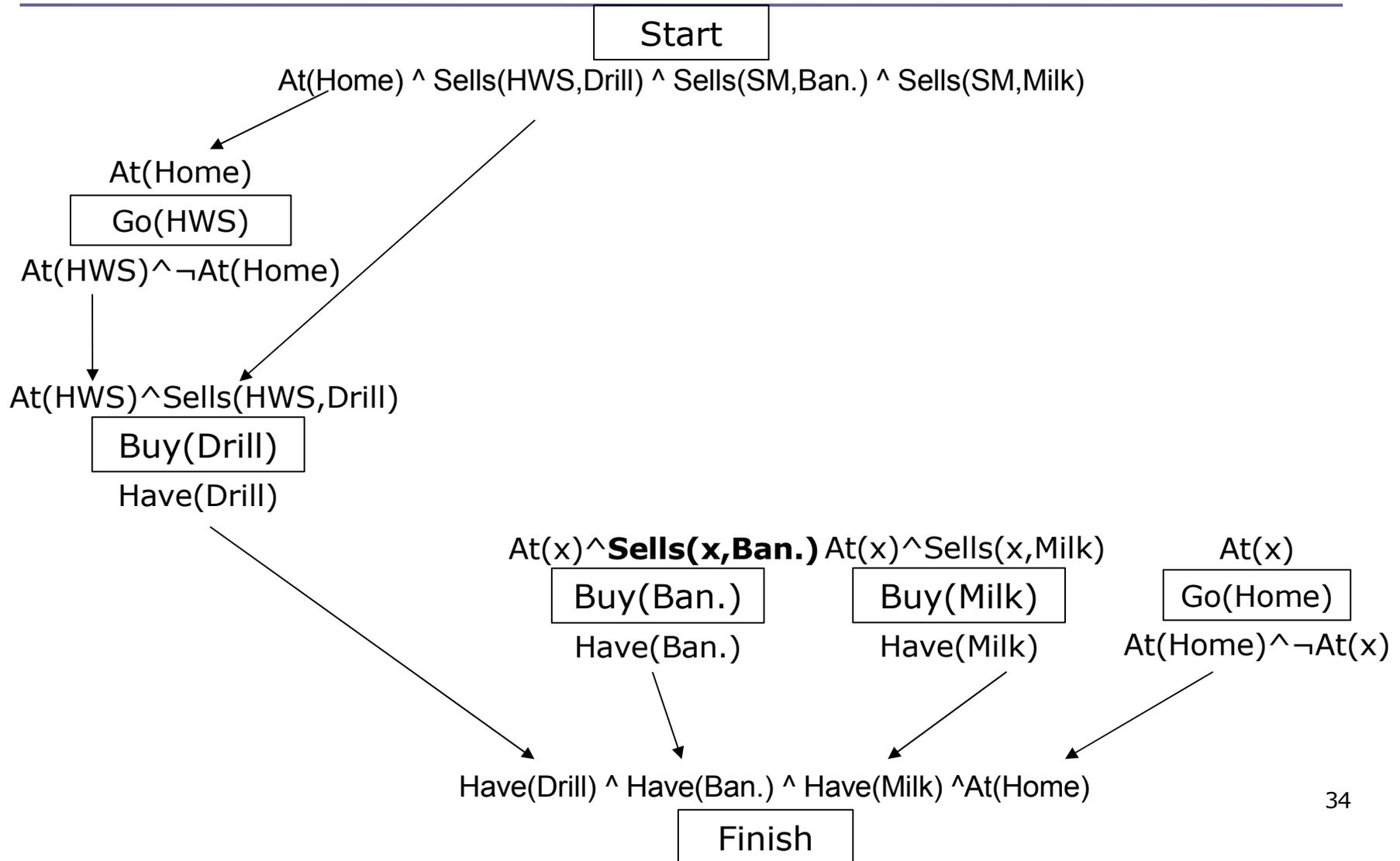
# Para a precondição $\text{Sells}(x, \text{Drill})$



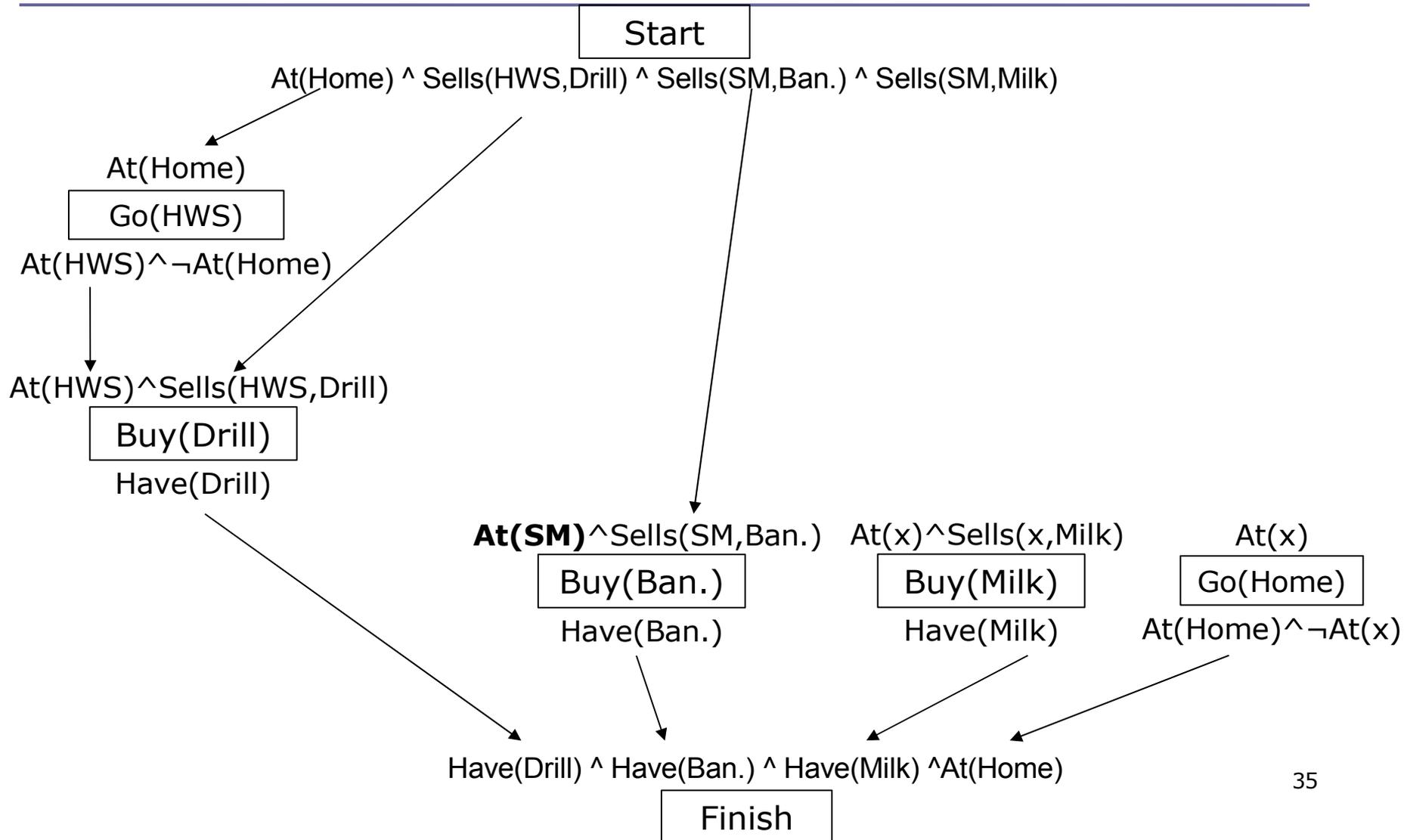
# Para a precondição $At(HWS)$



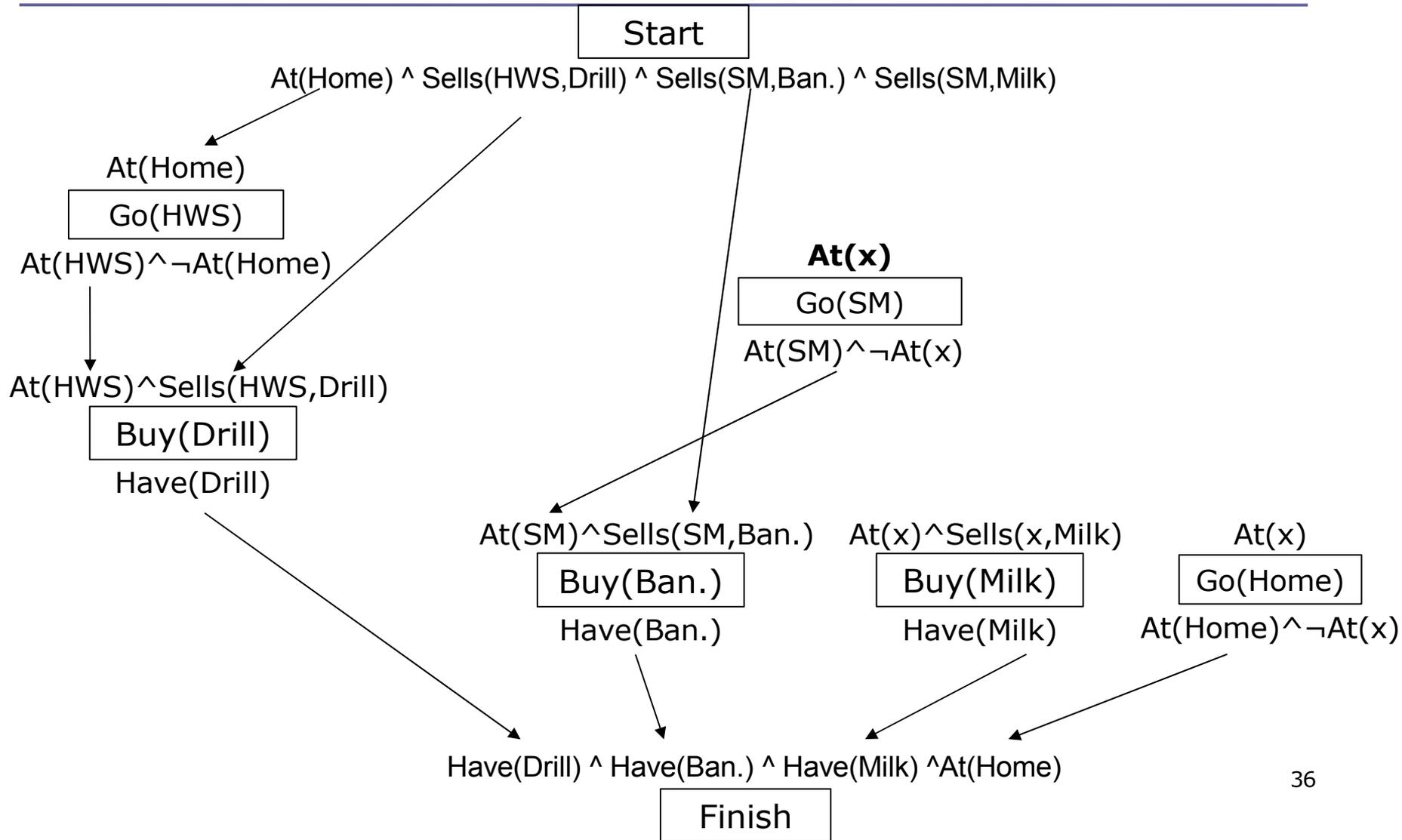
# Para a precondição $At(x)$



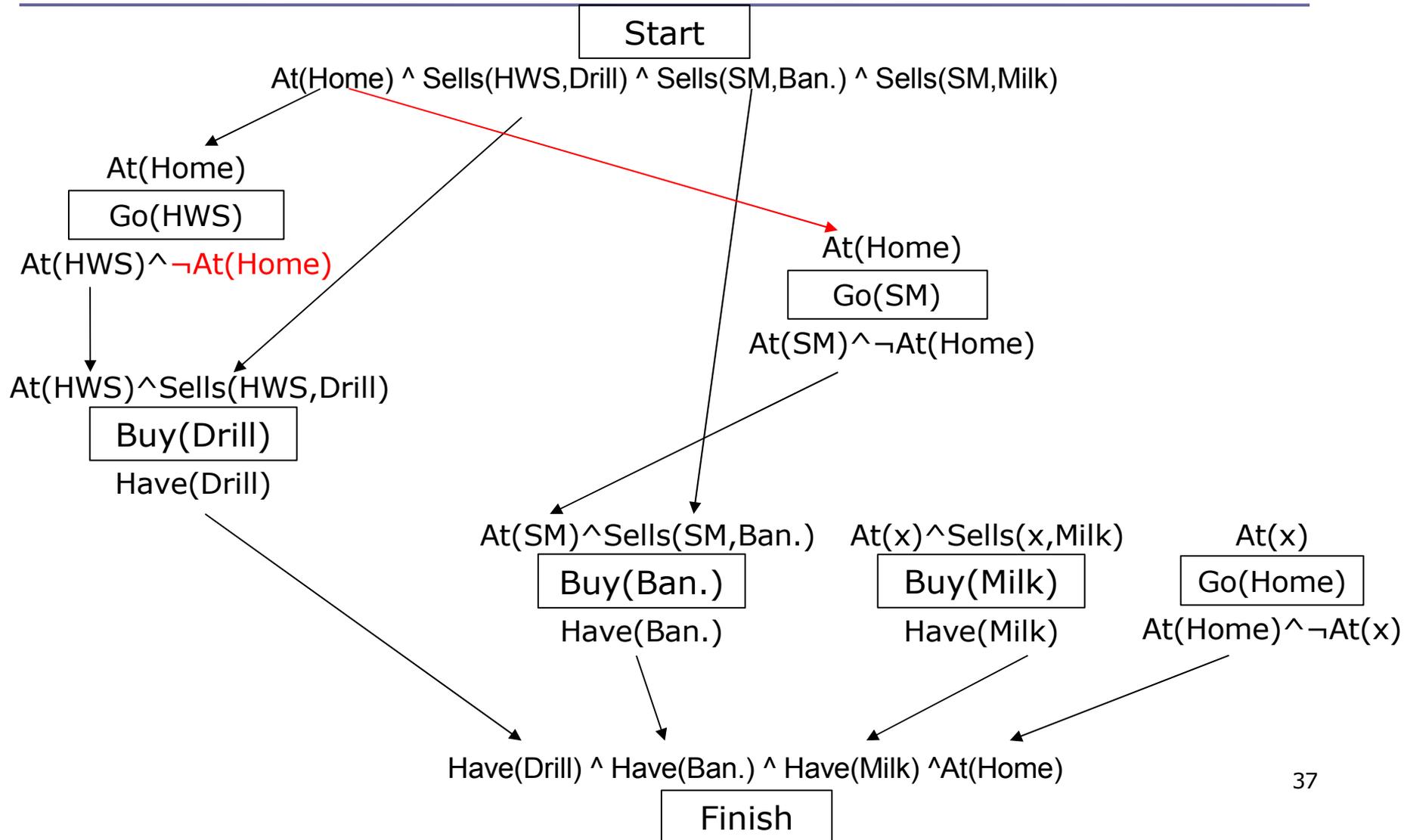
# Para a precondição $\text{Sells}(x, \text{Ban.})$



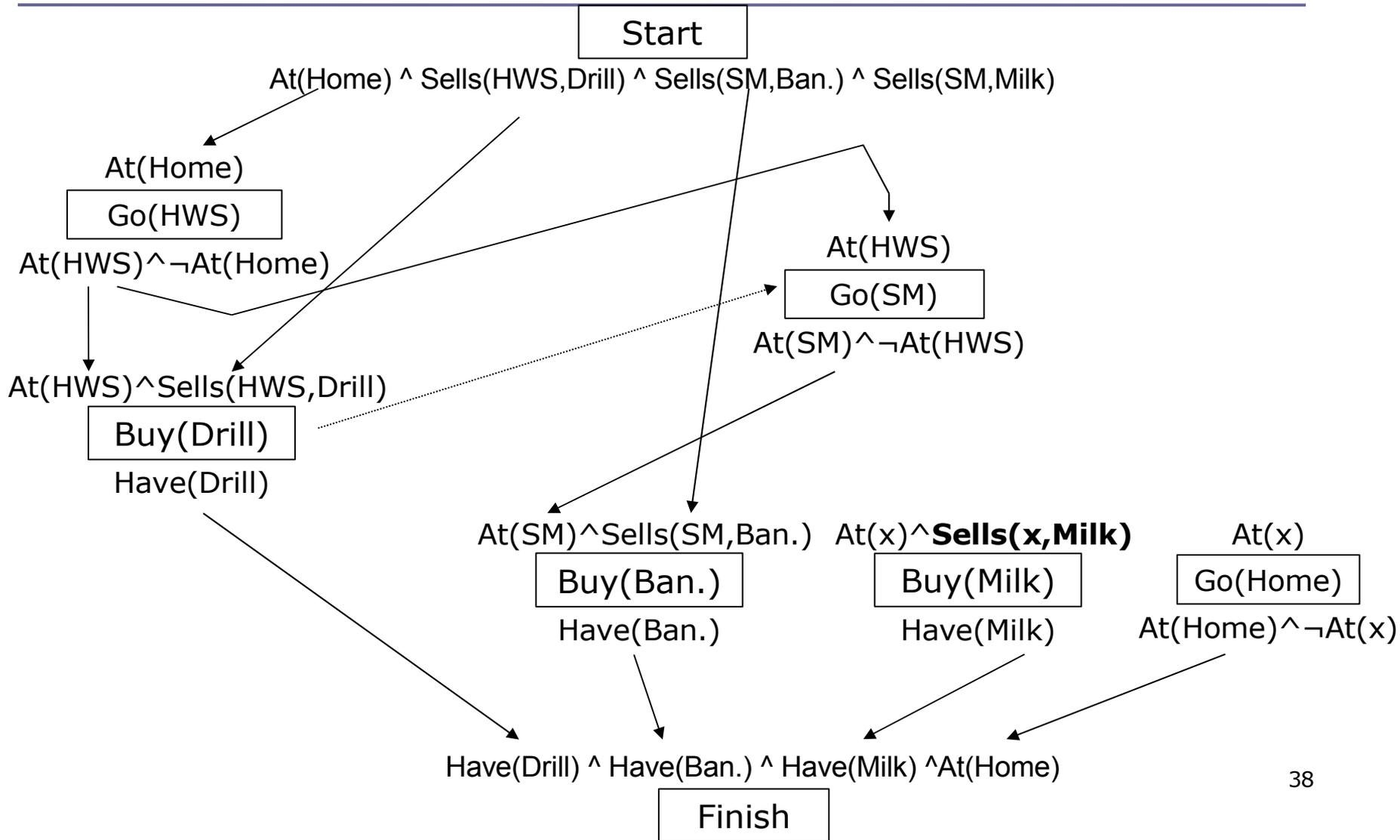
# Para a precondição $At(SM)$



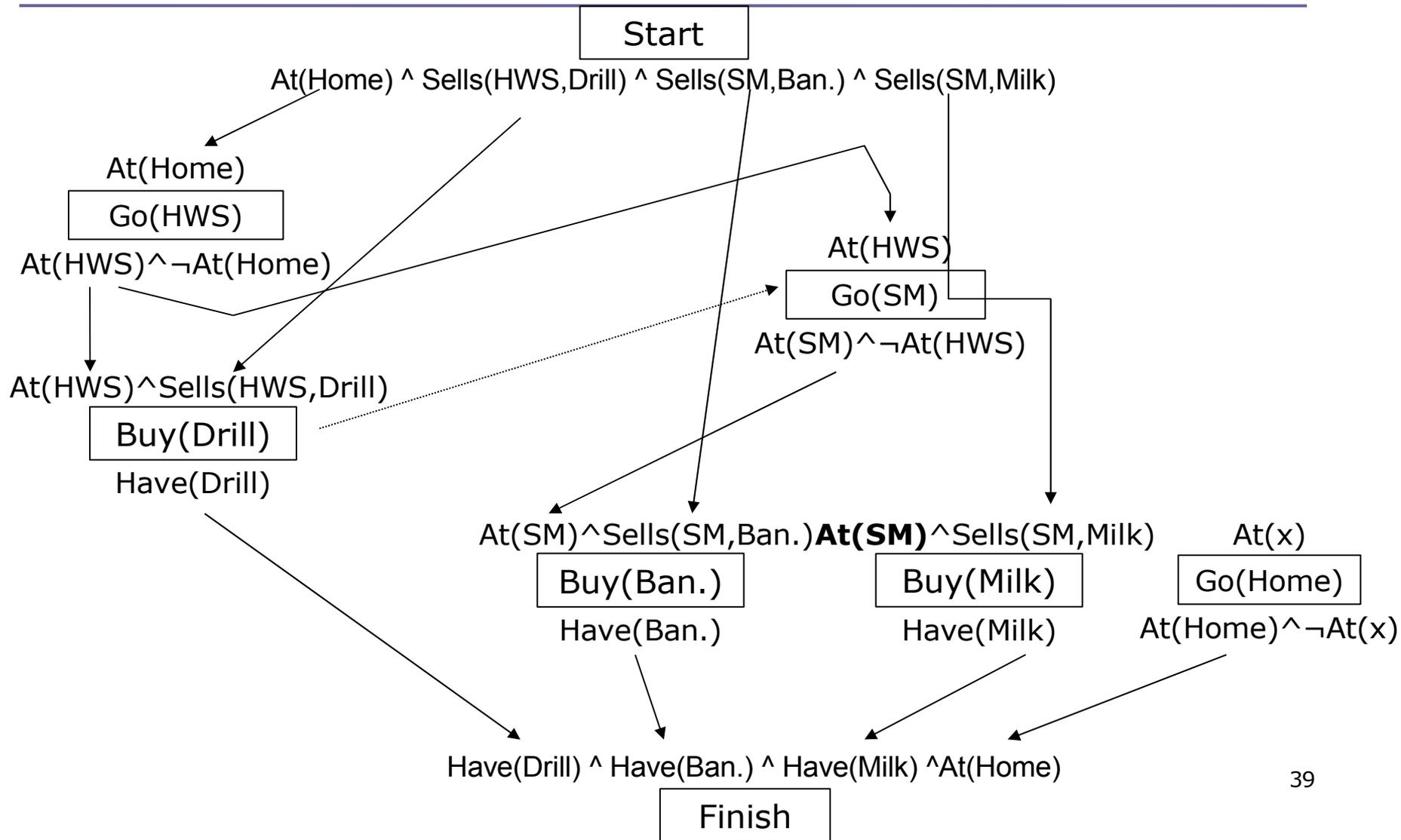
# Para a precondição $At(x)$ - Ameaça



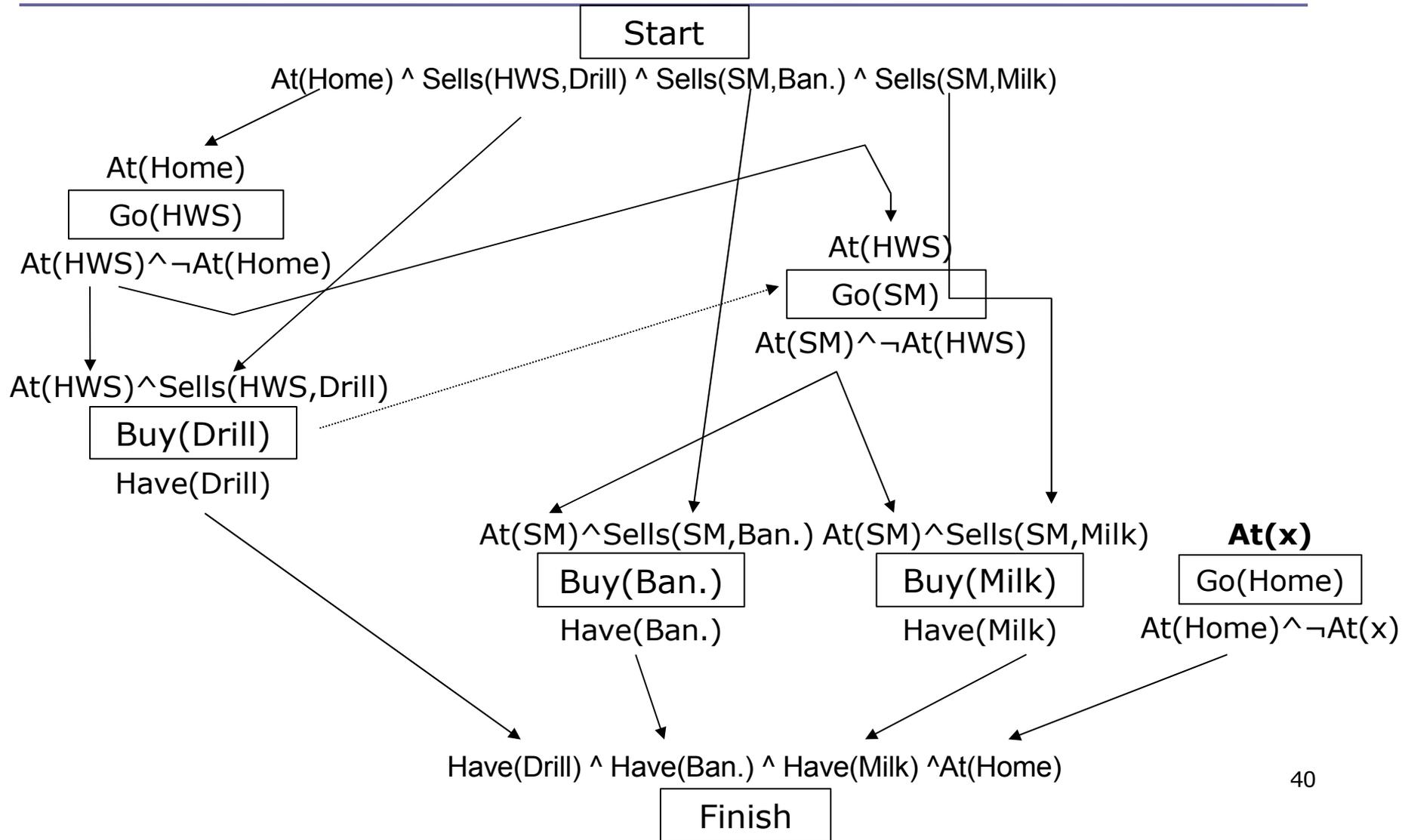
# Resolvendo a ameaça



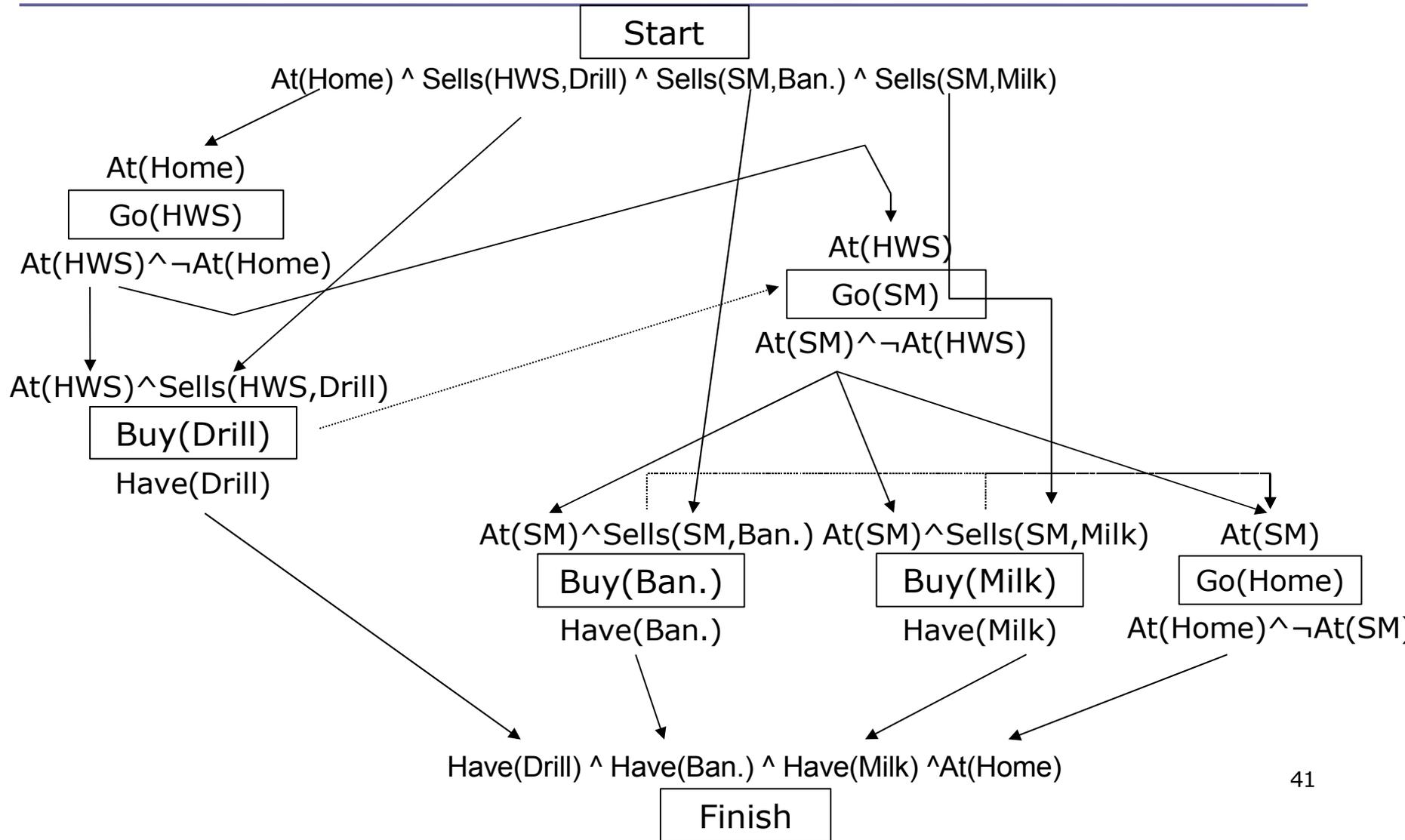
# Para a precondição $\text{Sells}(x, \text{Milk})$



# Para a precondição $At(SM)$



# Para a precondição $At(x)$



# Algoritmo de ordem parcial (*POP*)

---

**Function** POP(inicial, objetivo, operadores) **return** plano

plano  $\leftarrow$  FAÇA\_PLANO\_MINIMO(inicial, objetivo)

**Loop do**

**if** SOLUÇÃO(Plano)

**then return** plano

$S_{\text{need}}, c \leftarrow$  SELECIONE\_SUBOBJETIVO(plano)

  ESCOLHA\_OPERADOR(plano, operadores,  $S_{\text{need}}, c$ )

  RESOLVE\_AMEÇAS(plano)

**End**

---

**Function** SELECIONE\_SUBOBJETIVO(plan) **return**  $S_{\text{need}}, c$

Pegue um passo  $S_{\text{need}}$  de PASSOS(plano)

  com uma precondição  $c$  que ainda não tenha sido alcançada

**return**  $S_{\text{need}}, c$

# Algoritmo de ordem parcial (*POP*)

---

**Procedure** ESCOLHA\_OPERADOR(plano, operadores,  $S_{\text{need}}$ , c)

**Escolha** um passo  $S_{\text{add}}$  dos operadores ou de PASSOS(plano) que tem c como efeito

**If** não existe tal passo

**then falha**

Adicione o link causal  $S_{\text{add}} \xrightarrow{c} S_{\text{need}}$  a LINKS(plano)

Adicione a restrição de ordem  $S_{\text{add}} < S_{\text{need}}$  a ORDEM(plano)

**If**  $S_{\text{add}}$  é um novo passo dos operadores

**then**

adicione  $S_{\text{add}}$  a PASSOS(plano)

adicione  $\text{Start} < S_{\text{add}} < \text{Finish}$  a ORDEM(plano)

# Algoritmo de ordem parcial (*POP*)

---

**Procedure** RESOLVE\_AMEAÇAS(plano)

**For each**  $S_{\text{ameaça}}$  que ameaça um link  $S_i \xrightarrow{C} S_j$  em LINKS(plano) do

**escolha** um ou outro

Promotion: Adicione  $S_{\text{ameaça}} < S_i$  a ORDEM(plano)

Demotion: Adicione  $S_j < S_{\text{ameaça}}$  a ORDEM(plano)

**if not** CONSISTE(plano)

**then falha**

**end**

# Engenharia de conhecimento para planejamento

---

1. Decidir sobre o que estamos falando (ontologia)
2. Decidir qual é o vocabulário para literais, operadores e objetos
3. Codificar as operações do domínio
4. Codificar uma instância do problema
5. Colocar problemas e verificar respostas