

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**

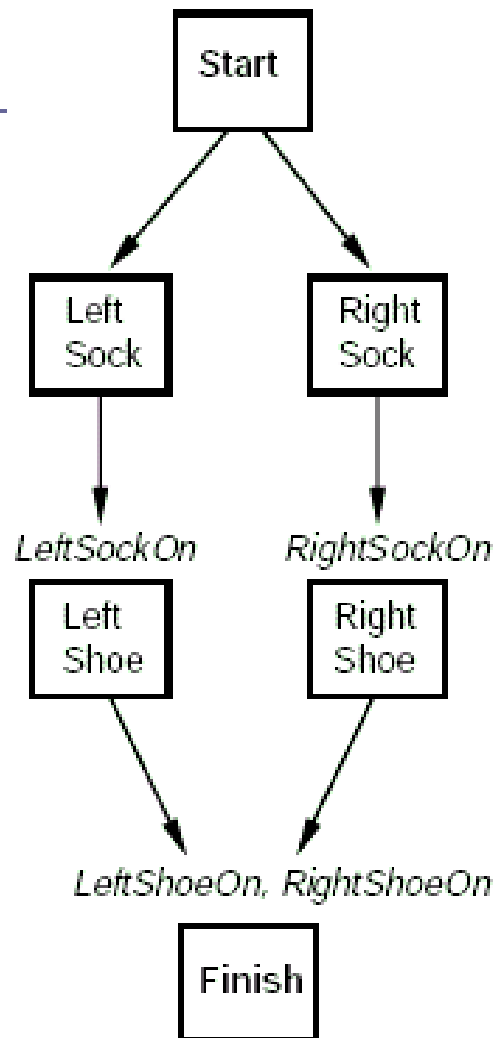
Exemplo dos sapatos e meias

- 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)

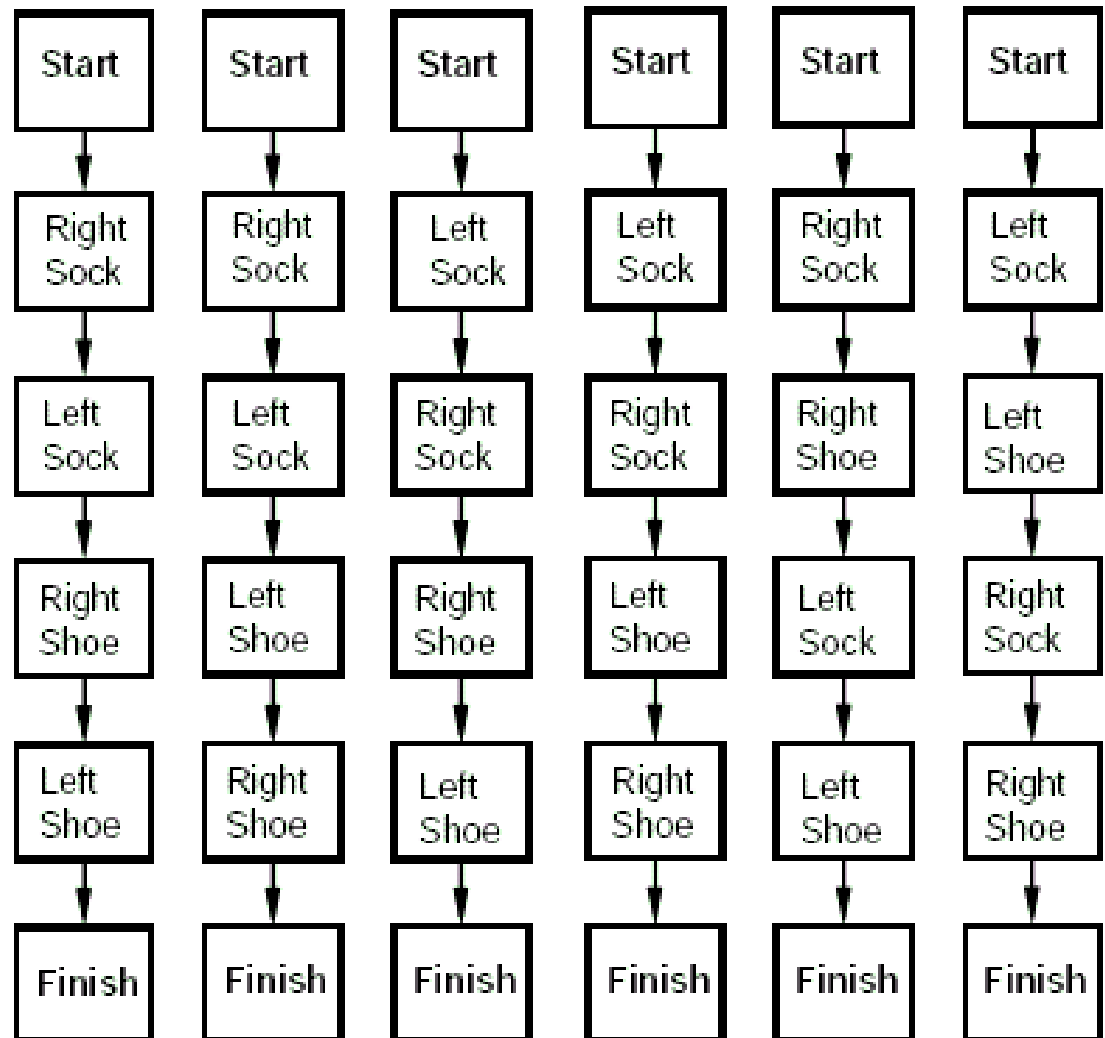
Planejador de Ordem Parcial

- 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 seqüência 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 extendido 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

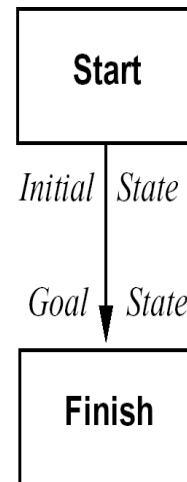
- Um plano inicial consiste de um problema não solucionado, contendo dois passos *Iniciar* e *Terminar*.
- Para o problemas dos sapatos/meias, um plano inicial pode ser escrito da seguinte maneira:

Ações: {*Iniciar*, *Terminar*}

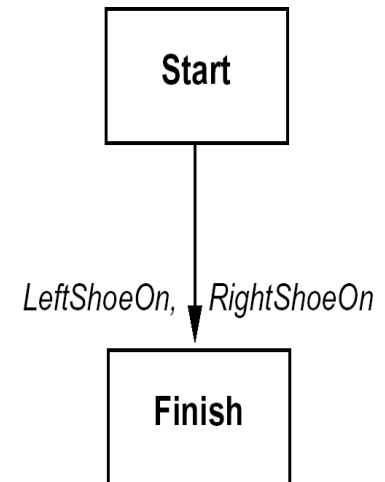
Ordenações: { *Iniciar* < *Terminar* }

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 $\textit{Iniciar} < \textit{Terminar}$
- 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 $A \xrightarrow{x} B$ e a restrição de ordenação $A < B$
 - Resolve conflitos entre o novo link causal e todas as ações existentes
 - Um conflito $A \xrightarrow{x} B$ 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)) ¹⁴

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

Em(Estepe, PortaMalas)

Remove(Estepe, PortaMalas)

Em(Estepe, Fora) \wedge \neg Em(Estepe, PortaMalas)

DeixarDuranteNoite

\neg Em(Furado, Eixo) \wedge

\neg Em(Furado, Fora) \wedge

\neg Em(Estepe, Eixo) \wedge

\neg Em(Estepe, Fora) \wedge

\neg Em(Estepe, PortaMalas)

\neg Em(Furado, Eixo) \wedge Em(Estepe, Fora)

Montar(Estepe, Eixo)

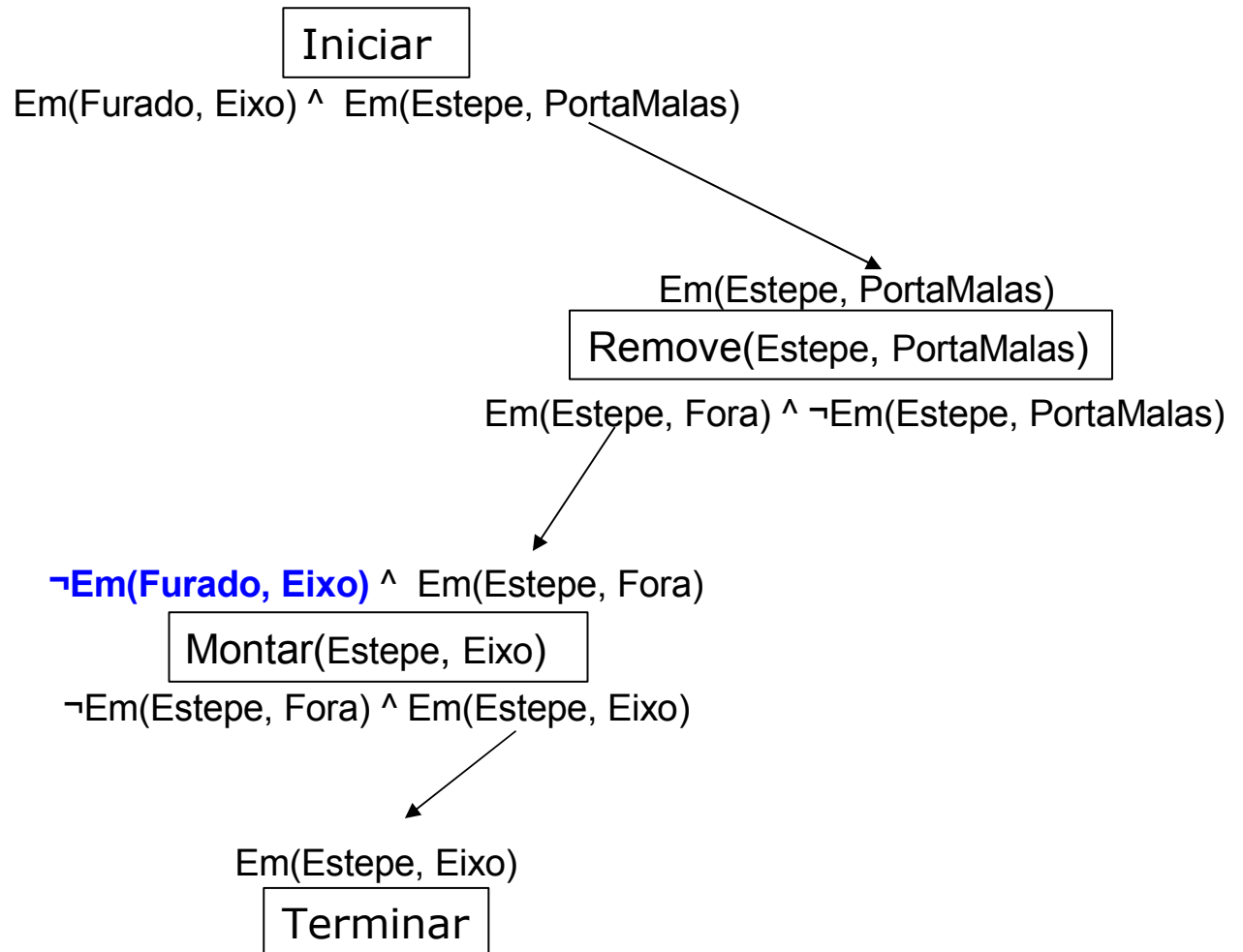
\neg Em(Estepe, Fora) \wedge Em(Estepe, Eixo)

Em(Furado, Eixo)

Remove(Furado, Eixo)

Em(Furado, Fora) \wedge \neg Em(Furado, 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)

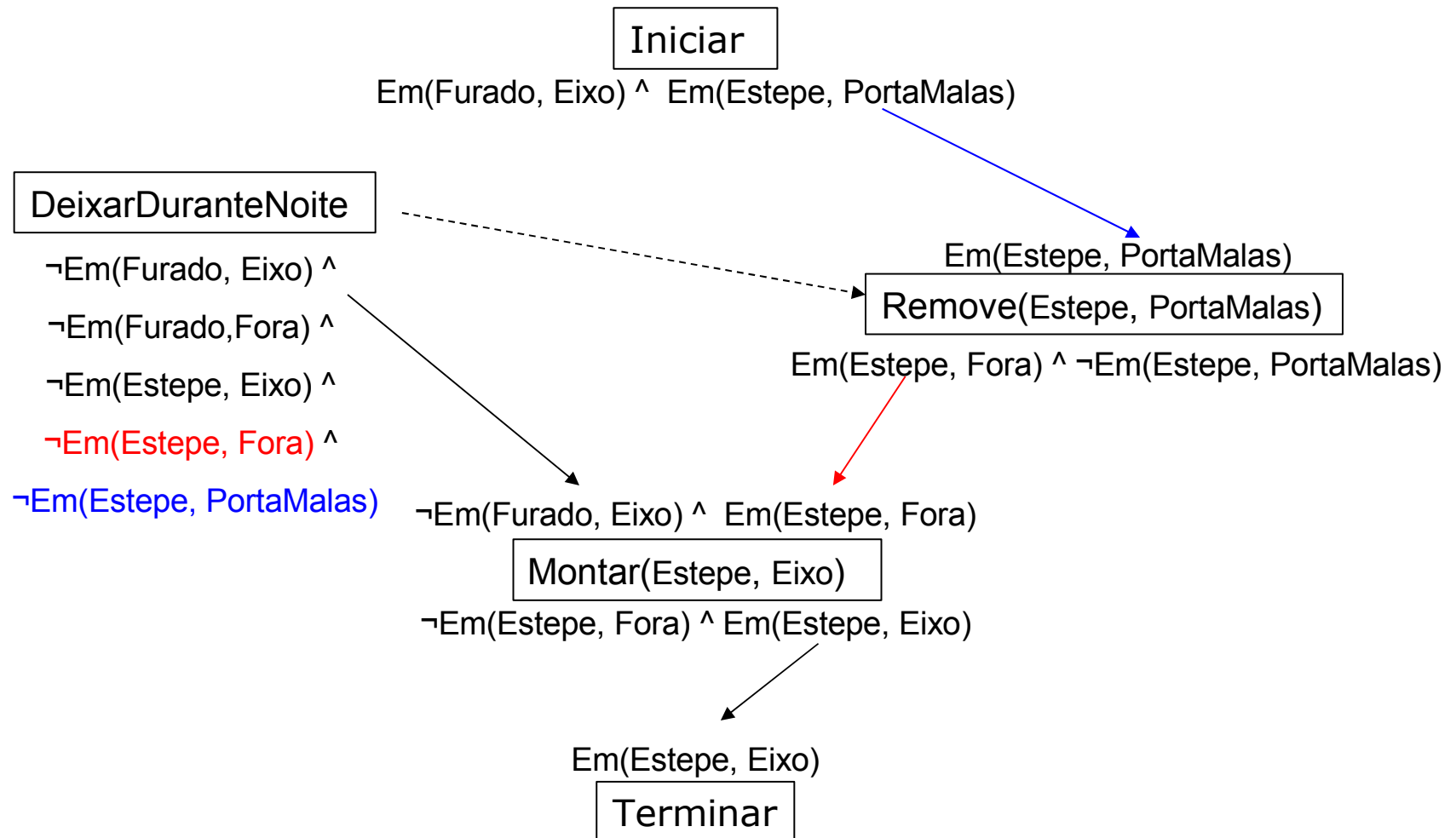
$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora}) \wedge \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Eixo})$

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

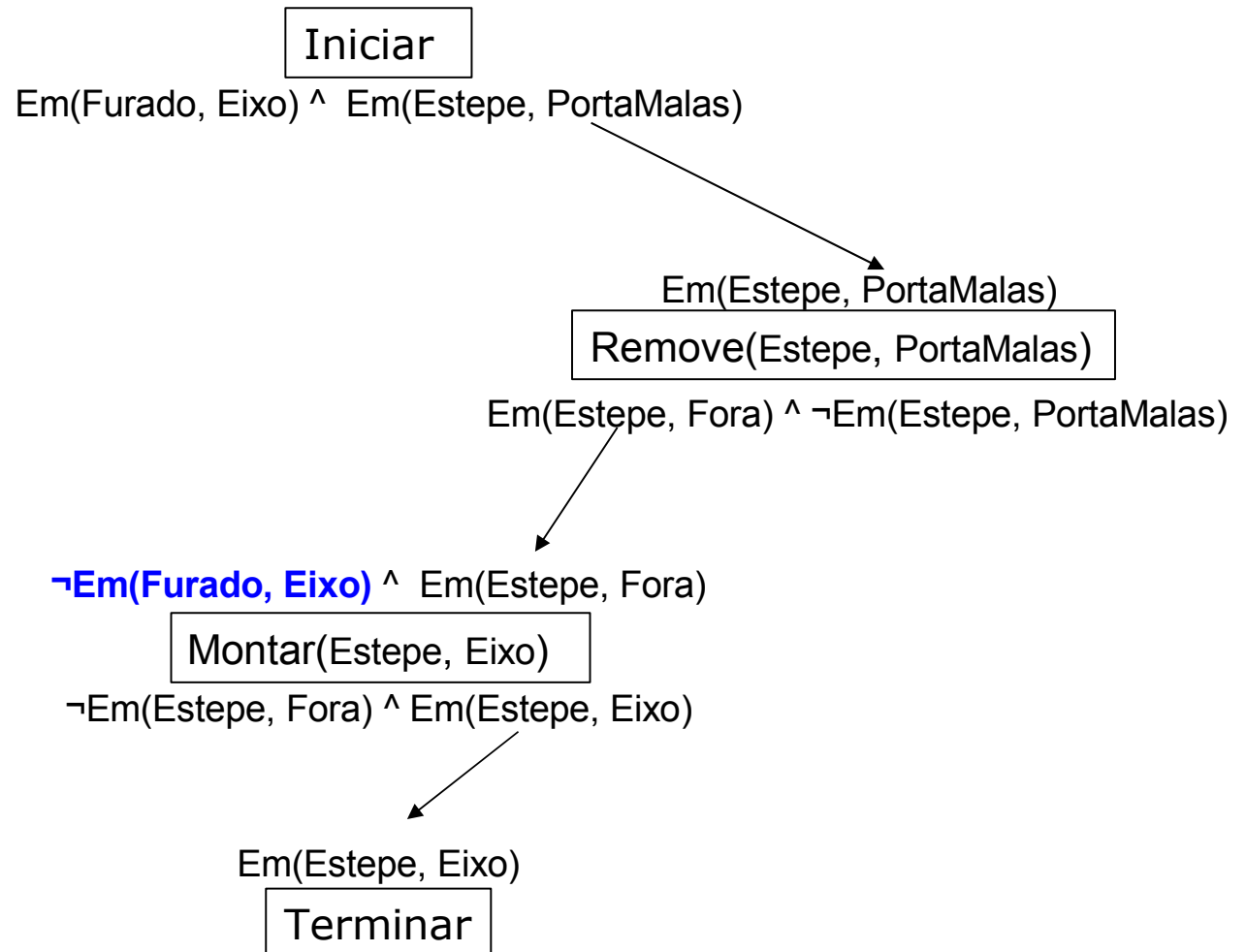
Remove(Furado, Eixo)

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

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)

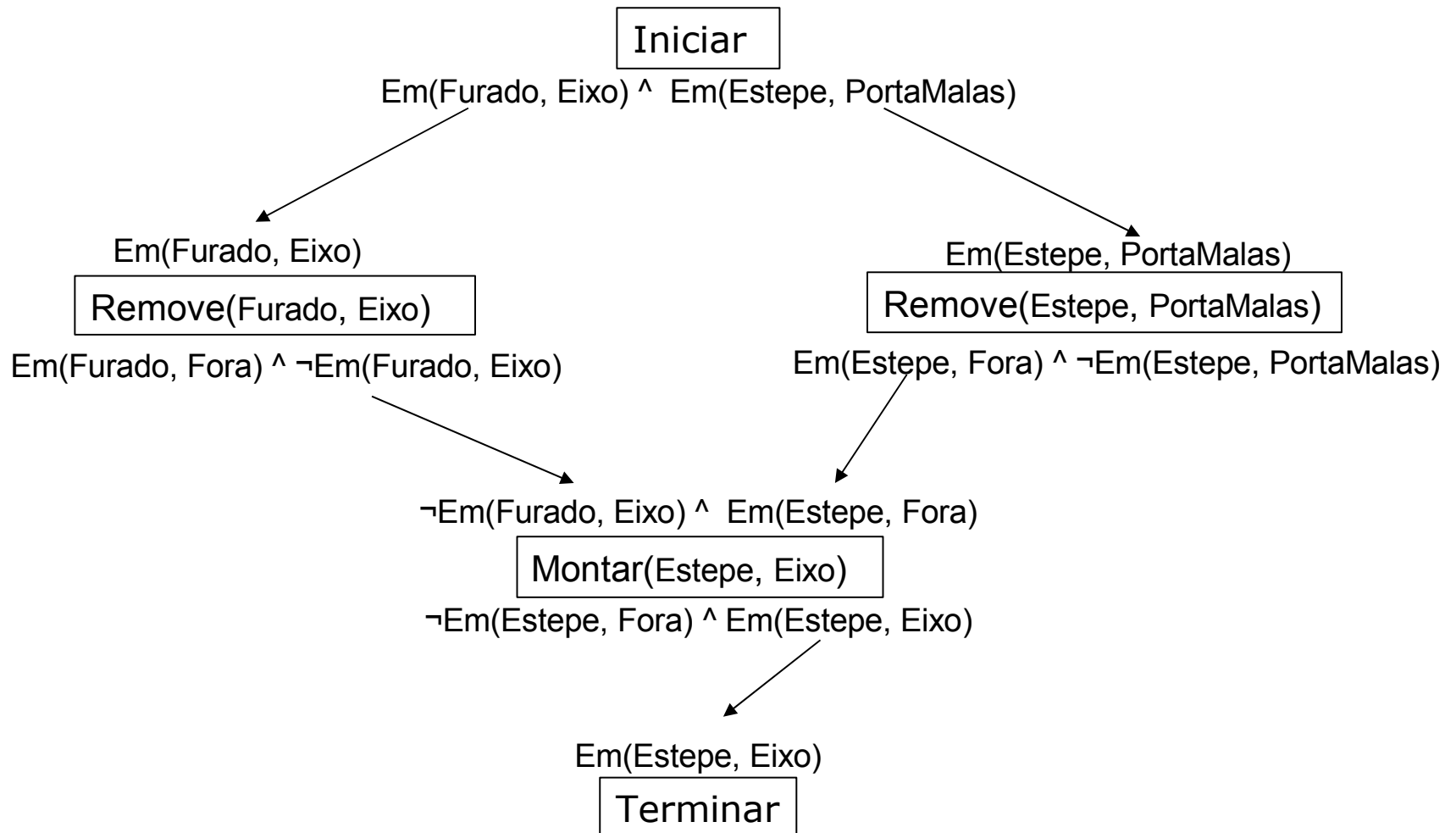
$\neg \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Fora}) \wedge \text{Em}(\text{Estepe}, \text{Eixo})$

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

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
- $\text{Mover}(A, x, B) \neg \text{Sobre}(A, B) \rightarrow \text{Terminar}$
- 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

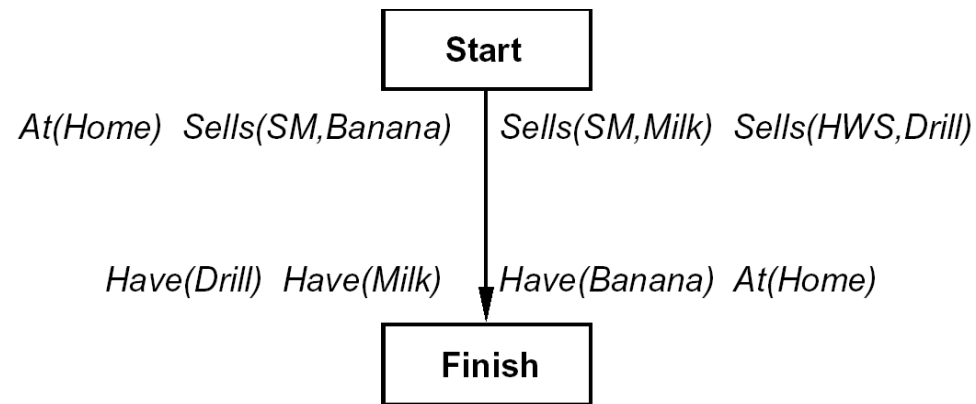
Problema da vitamina

- 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

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

$\text{At}(x) \wedge \text{Sells}(x, \text{Drill})$

Buy(Drill)

Have(Drill)

$\text{At}(x) \wedge \text{Sells}(x, \text{Ban.})$

Buy(Ban.)

Have(Ban.)

$\text{At}(x) \wedge \text{Sells}(x, \text{Milk})$

Buy(Milk)

Have(Milk)

$\text{At}(x)$

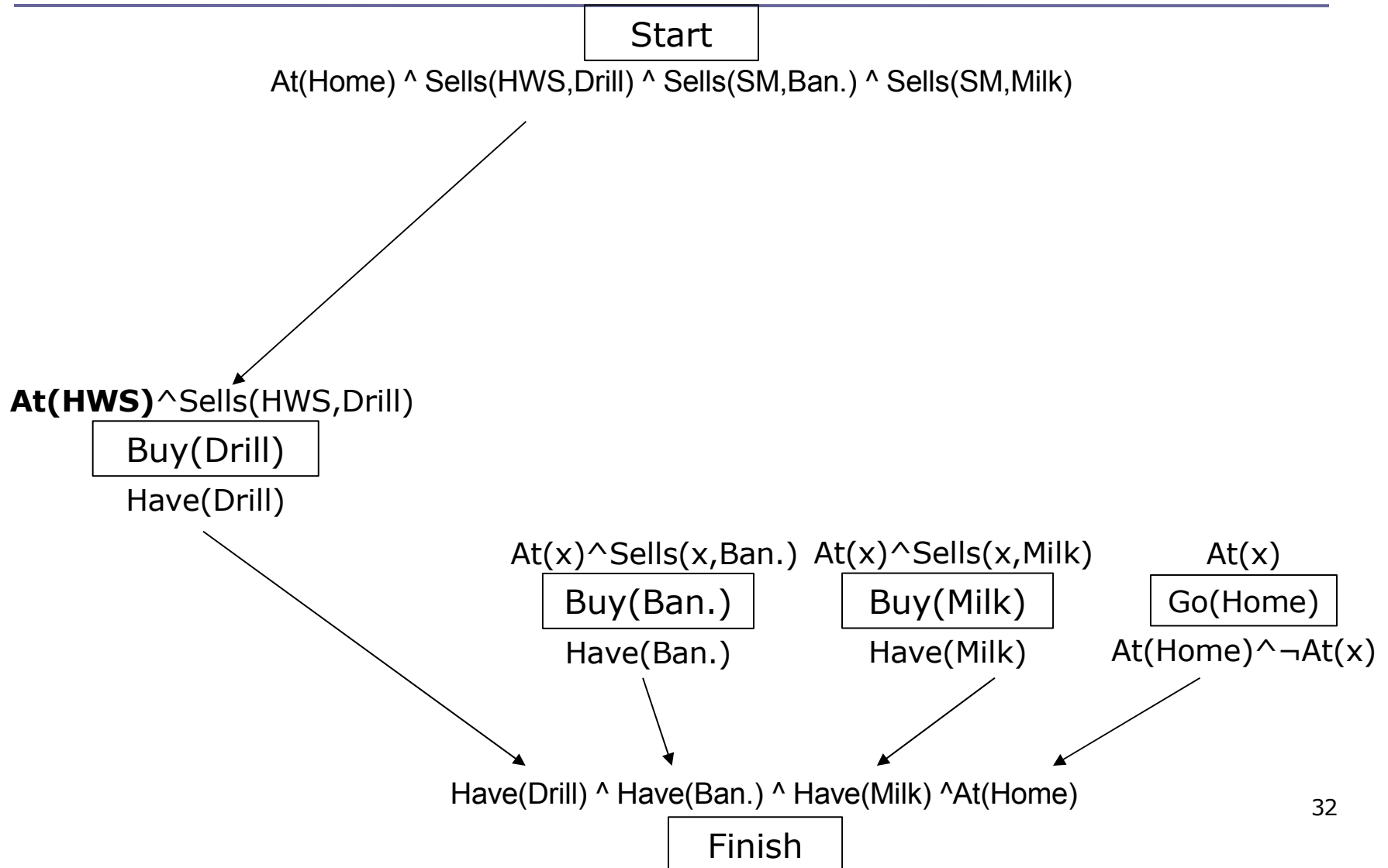
Go(Home)

$\text{At(Home)} \wedge \neg \text{At}(x)$

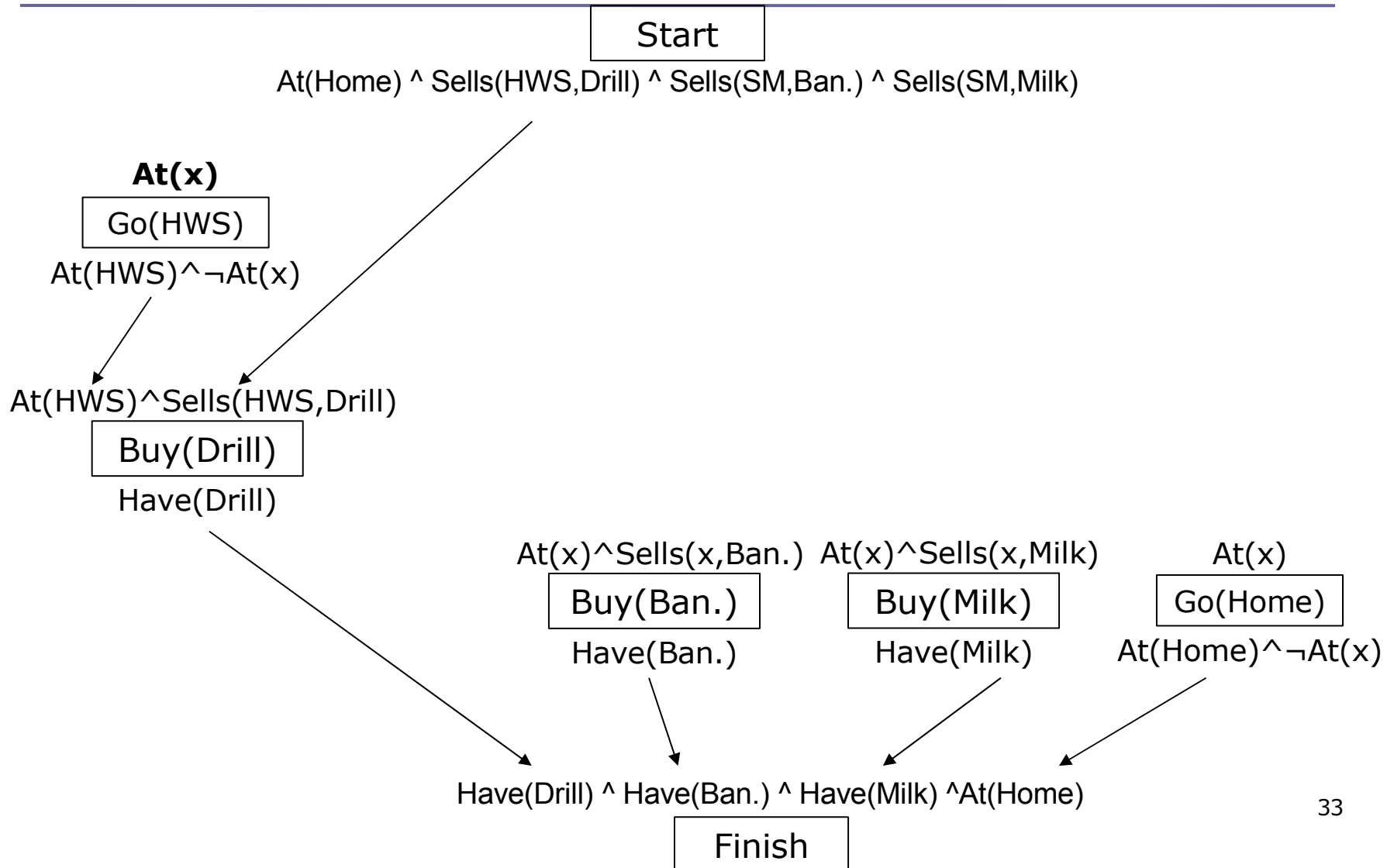
$\text{Have(Drill)} \wedge \text{Have(Ban.)} \wedge \text{Have(Milk)} \wedge \text{At(Home)}$

Finish

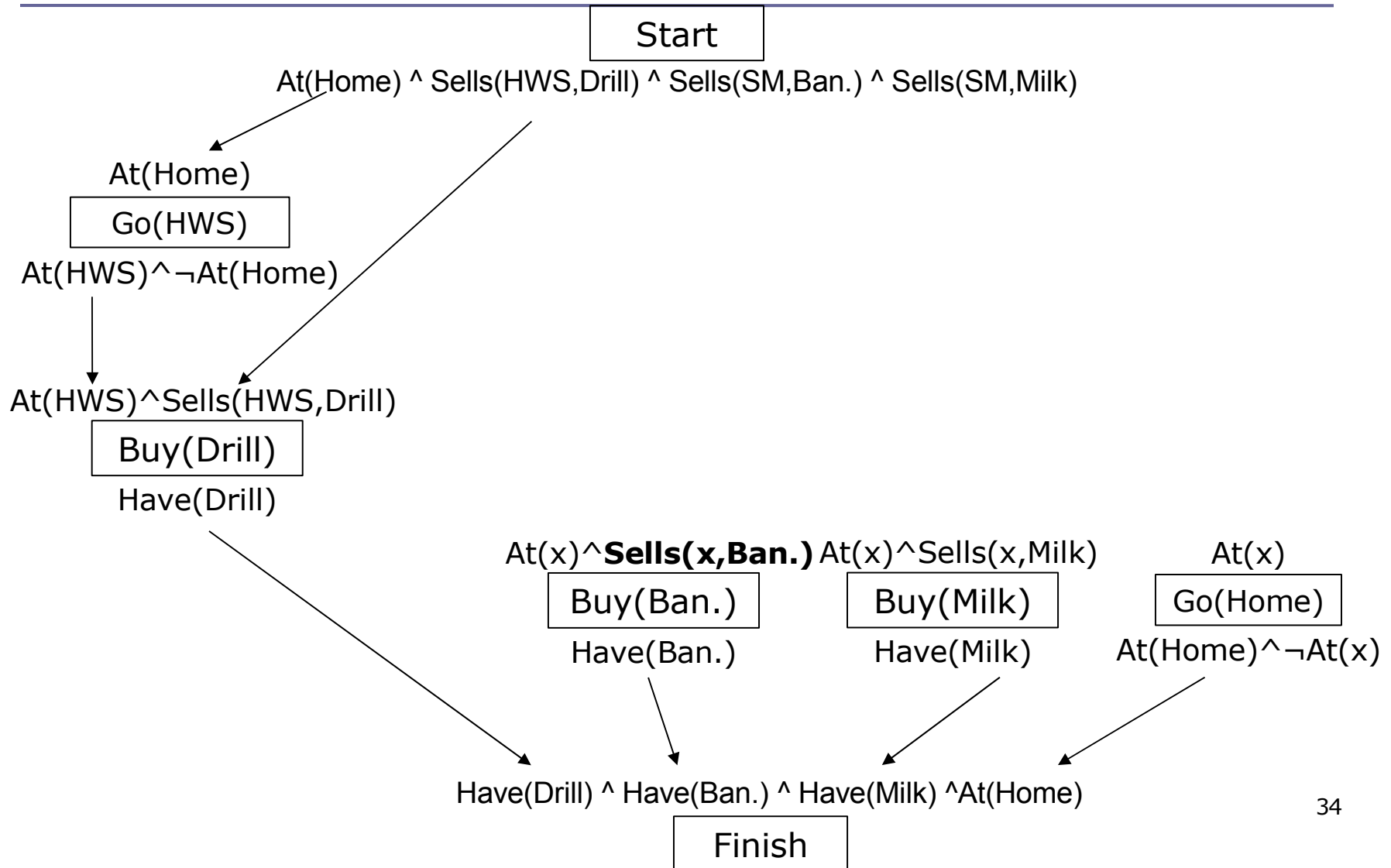
Para a precondição $\text{Sells}(x, \text{Drill})$



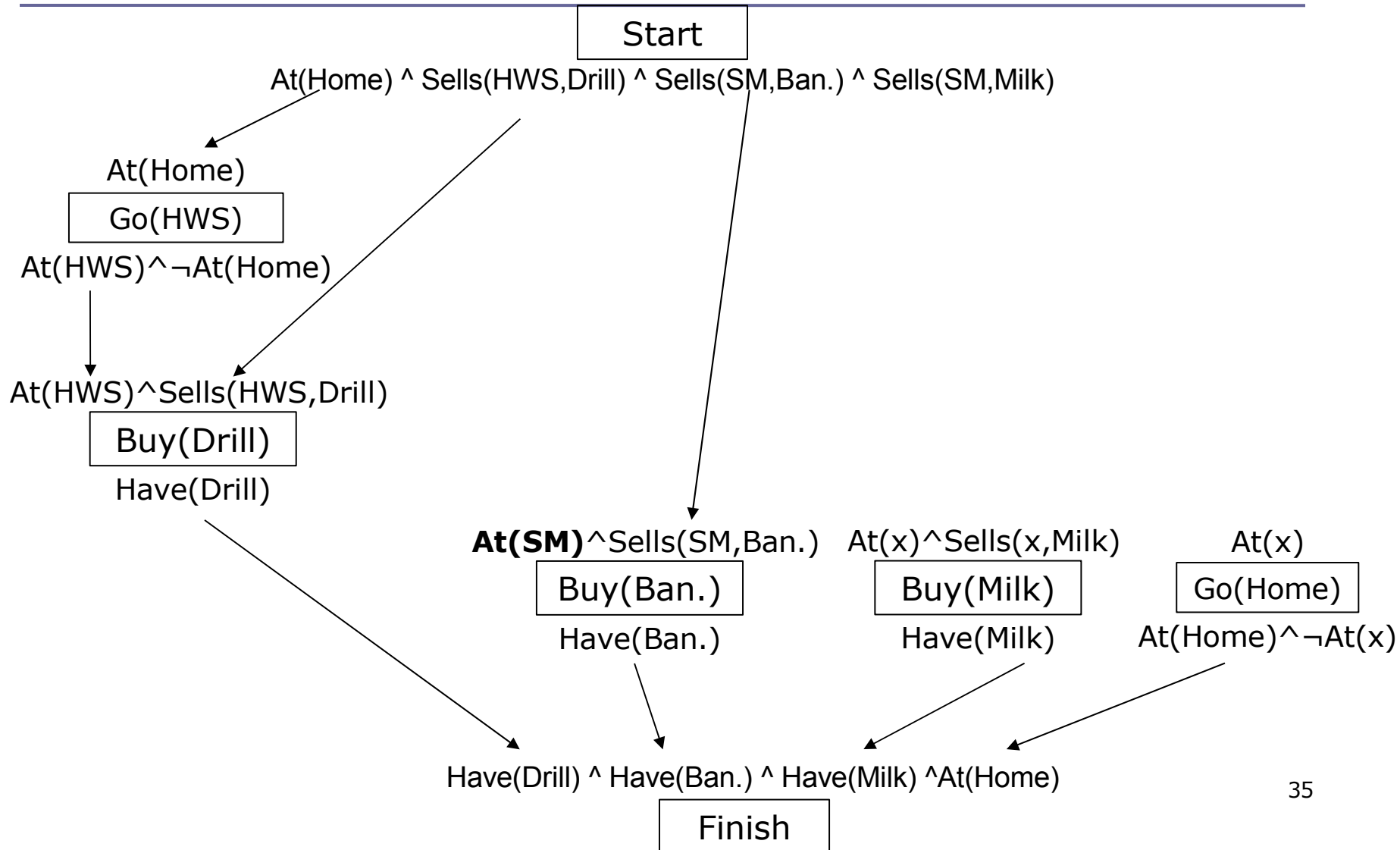
Para a precondição $At(HWS)$



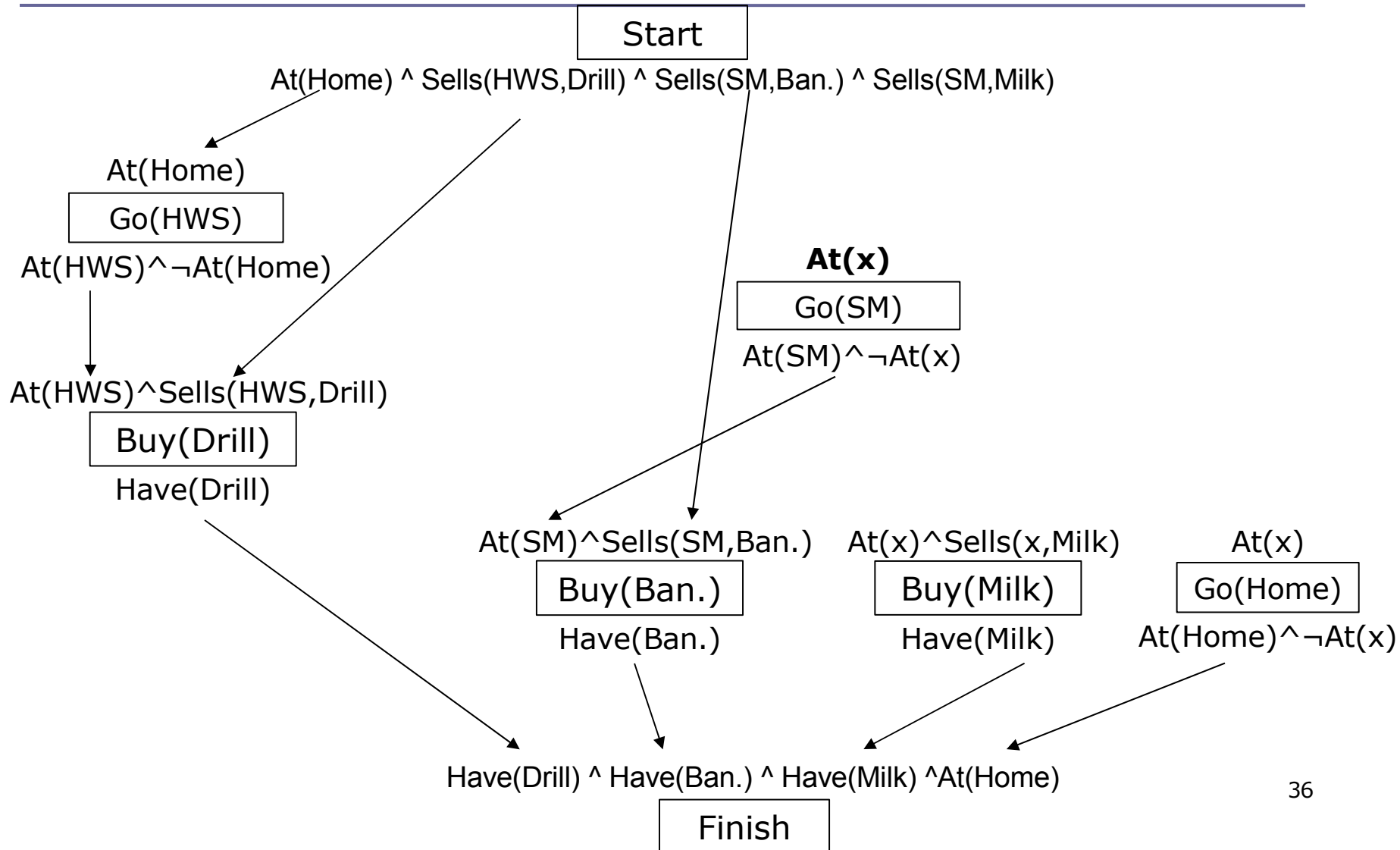
Para a precondição $At(x)$



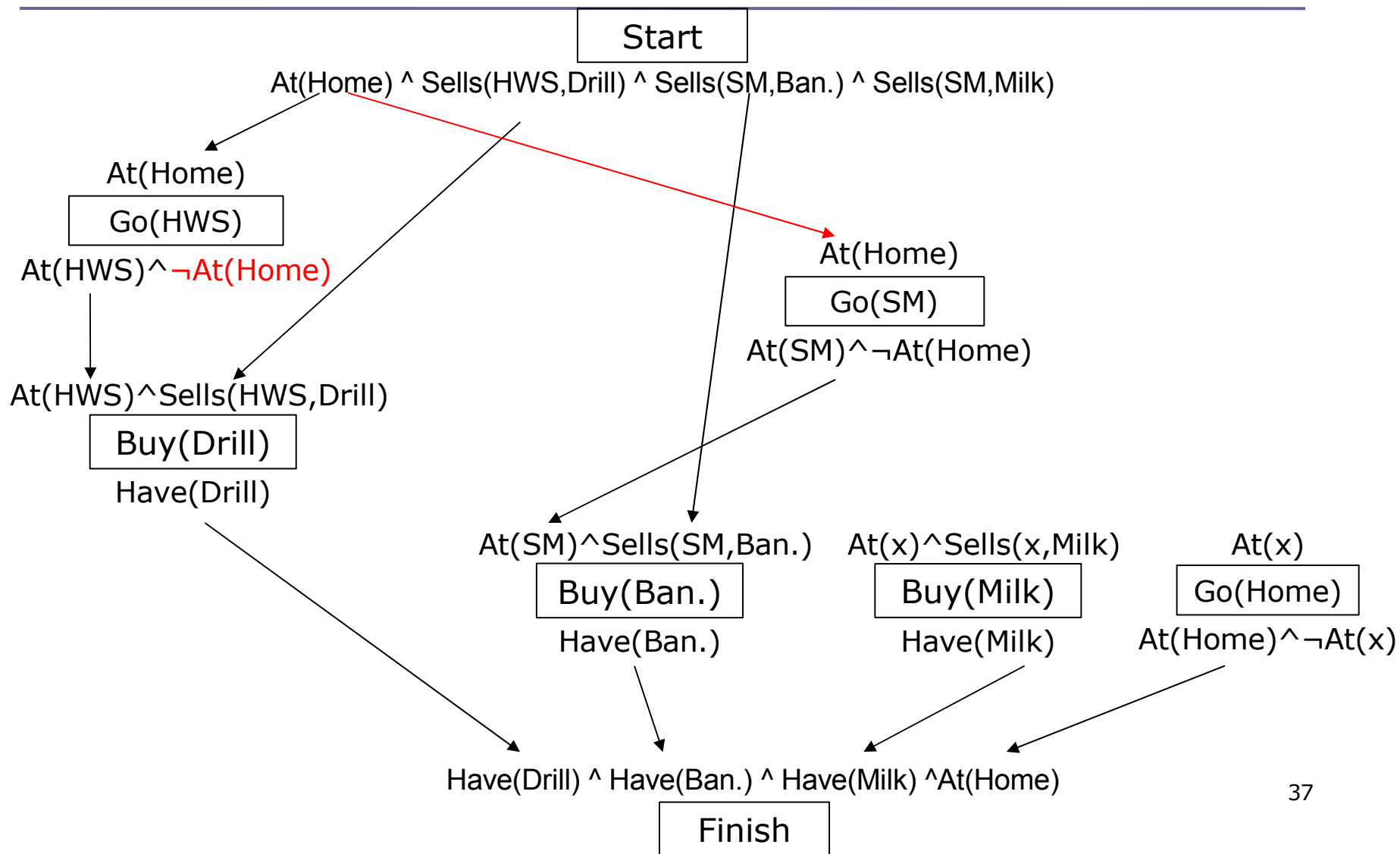
Para a precondição $\text{Sells}(x, \text{Ban.})$



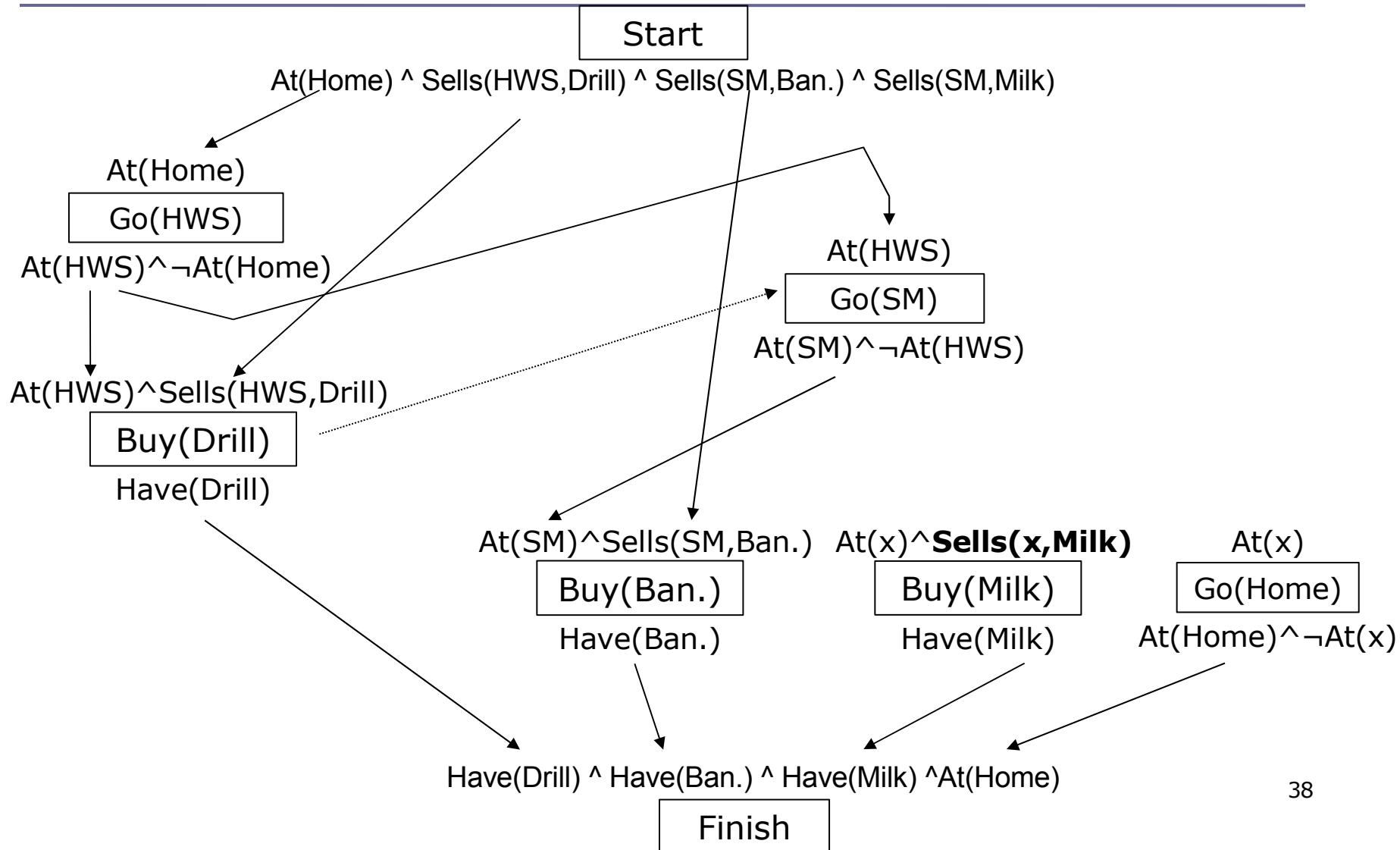
Para a precondição $At(SM)$



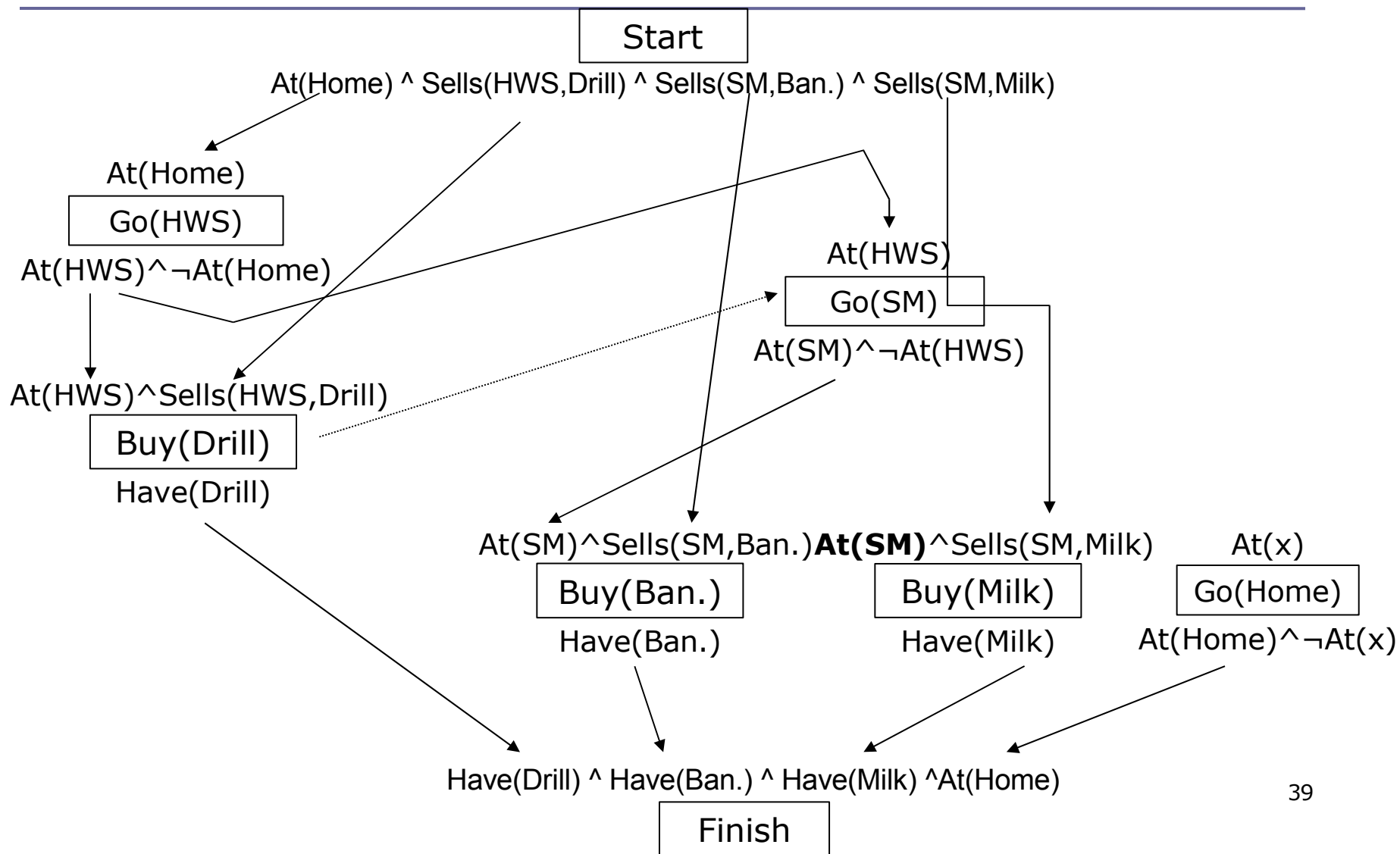
Para a precondição $At(x)$ - Ameaça



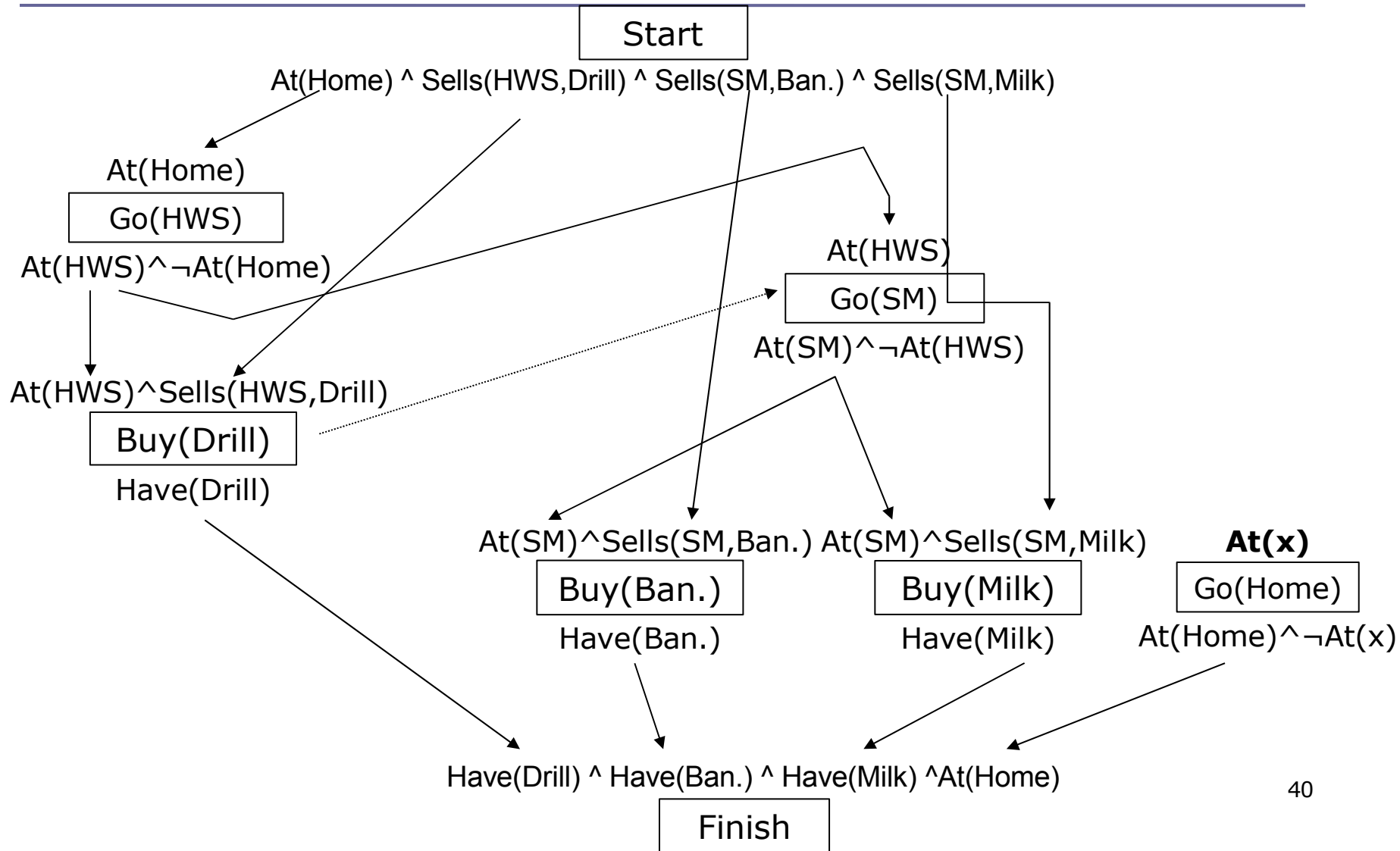
Resolvendo a ameaça



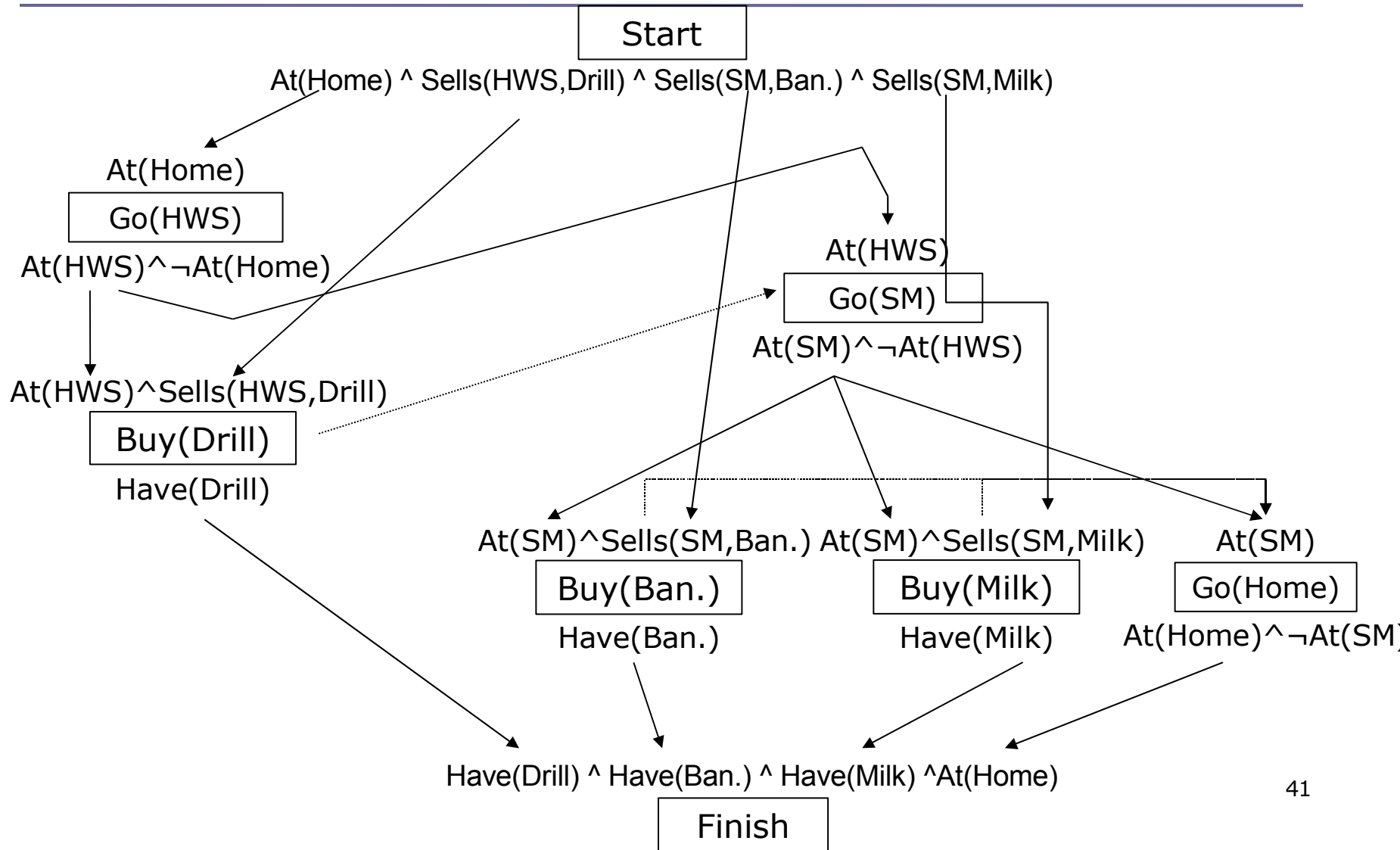
Para a precondição $\text{Sells}(x, \text{Milk})$



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_{need}, c)

 RESOLVE_AMEÇAS(plano)

End

Function SELECIONE_SUBOBJETIVO(plan) **return** S_{need}, c

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

 com uma precondição c que ainda não tenha sido alcançada

return S_{need}, c

Algoritmo de ordem parcial (*POP*)

Procedure ESCOLHA_OPERADOR(plano, operadores, S_{need} , c)

Escolha um passo S_{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_{add} é um novo passo dos operadores

then

adicione S_{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