Pontifícia Universidade Católica
do Rio de Janeiro

INF 1771 – Inteligência Artificial

Aula 09 – Introdução ao Prolog

Edirlei Soares de Lima
<elima@inf.puc-rio.br>

visionlab
visualization laboratory

Introdução

- O Prolog é uma linguagem de programação baseada em **lógica de primeira ordem**.
- Não é padronizada.
- Algumas implementações: SICStus Prolog, Borland Turbo Prolog, **SWI-Prolog**...
- Geralmente é interpretado, mas pode ser compilado.

Prolog x Outras Linguagens

- **Linguagens Procedimentais (C, Pascal, Basic...):** Especifica-se como realizar determinada tarefa.

- **Linguagens Orientadas a Objetos (C++, Java, C#...):** Especifica-se objetos e seus métodos.

- **Prolog:** Especifica-se o quê se sabe sobre um problema e o quê deve ser feito. É mais direcionada ao conhecimento e menos direcionada a algoritmos.

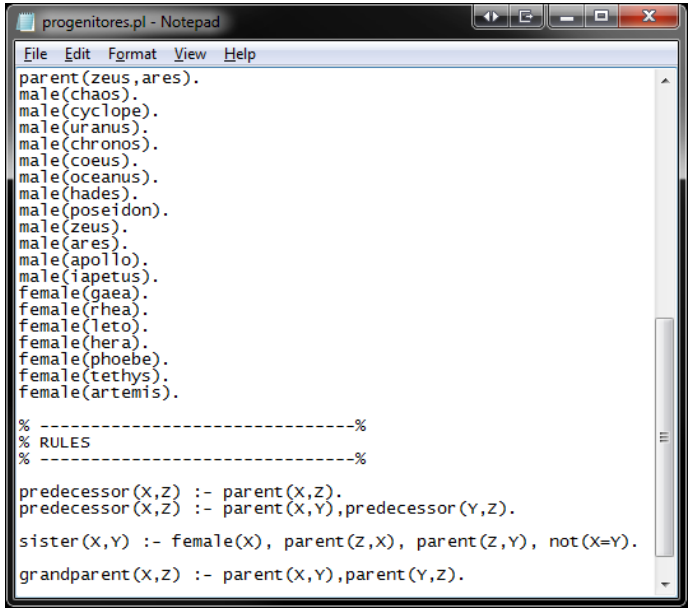
Programação em Prolog

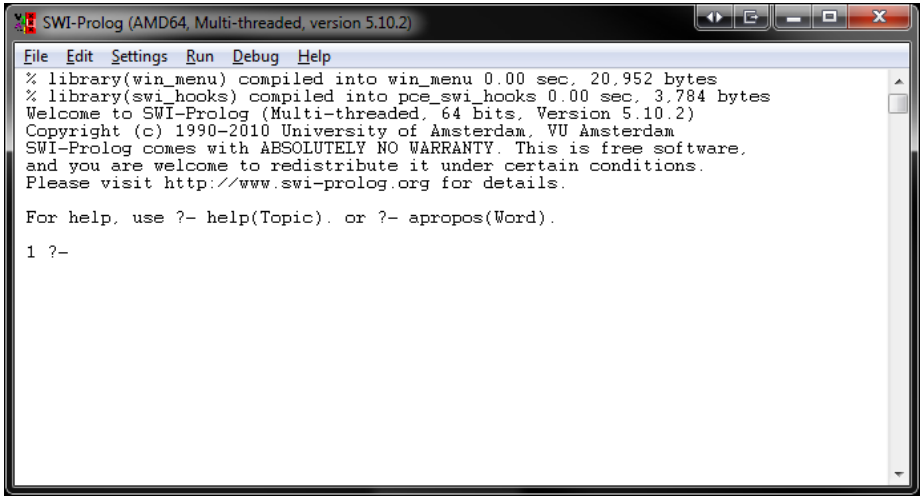
- **Programar em Prolog envolve:**
  - Declarar alguns **fatos** a respeito de objetos e seus relacionamentos.
  - Definir algumas **regras** sobre os objetos e seus relacionamentos.
  - Fazer **perguntas** sobre os objetos e seus relacionamentos.

SWI-Prolog

- Open Source.
- Multiplataforma.
- Possui interface com as linguagens C e C++.
- www.swi-prolog.org

SWI-Prolog - Interface





Sentenças Prolog

- **Nomes de constantes e predicados** iniciam sempre com letra **minúscula**.
- O **predicado** (relação unária, n-ária ou função) é escrito primeiro e os objetos relacionados são escritos depois entre parênteses.
- **Variáveis** sempre começam por letra **maiúscula**.
- Toda sentença termina com ponto “.”
- **Exemplo:** gosta(maria, jose).

Operadores Lógicos

Símbolo	Conectivo	Operação Lógica
:-	IF	Implicação
,	AND	Conjunção
;	OR	Disjunção
not	NOT	Negação

Operadores Relacionais

Operador	Significado
X = Y	Igual a
X \= Y	Não igual a
X < Y	Menor que
Y > X	Maior que
Y =< X	Menor ou igual a
Y >= X	Maior ou igual a

Regras

- **Regras** são utilizadas para expressar dependência entre um fato e outro fato:
  - criança(X) :- gosta(X,sorvete).
  - criança(X) :- not odeia(X,sorvete).

- Ou grupo de fatos:
  - avó(X,Z) :- (mãe(X,Y),mãe(Y,Z)); (mãe(X,Y),pai(Y,Z)).

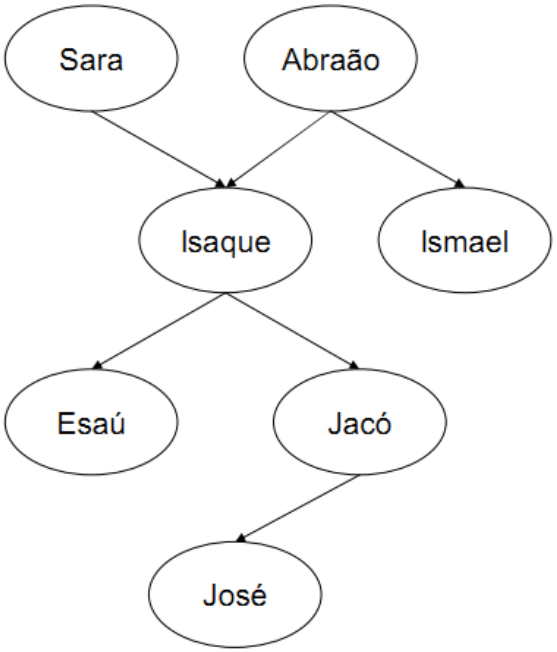
- Podem conter listas:
  - compra(ana, [roupa, comida, brinquedo])

Definindo Relações por Fatos

- Exemplo de relações familiares:
  - O fato que **Abraão é um progenitor de Isaque** pode ser escrito em Prolog como:

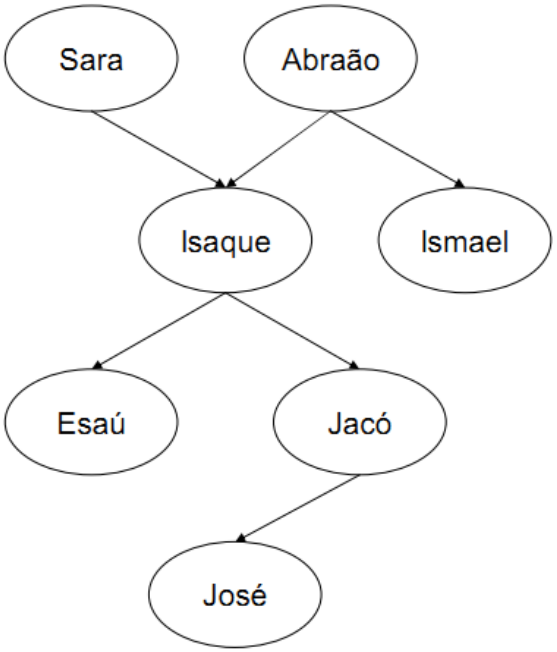
    progenitor(abraão, isaque).

  - Neste caso definiu-se progenitor como o **nome de uma relação**; abraão e isaque são seus argumentos.



Definindo Relações por Fatos

- Árvore familiar completa em Prolog:
  - progenitor(sara,isaque).
  - progenitor(abraão,isaque).
  - progenitor(abraão,ismael).
  - progenitor(isaque,esaú).
  - progenitor(isaque,jacó).
  - progenitor(jacó,josé).



- Cada cláusula declara um fato sobre a relação progenitor.

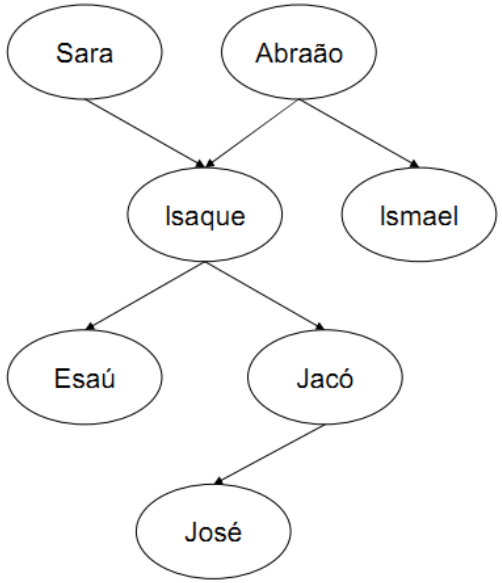
Definindo Relações por Fatos

- Quando o programa é interpretado, pode-se questionar o Prolog sobre a relação progenitor, por exemplo: **Isaque é o pai de Jacó?**

  ?- progenitor(isaque,jacó).

- Como o Prolog encontra essa pergunta como um fato inserido em sua base, ele responde:

  true




```
progenitor(sara,isaque).
progenitor(abraão,isaque).
progenitor(abraão,ismael).
progenitor(isaque,esaú).
progenitor(isaque,jacó).
progenitor(jacó,josé).
```

Definindo Relações por Fatos

- **Uma outra pergunta pode ser:**

  ?- progenitor(ismael,jacó).

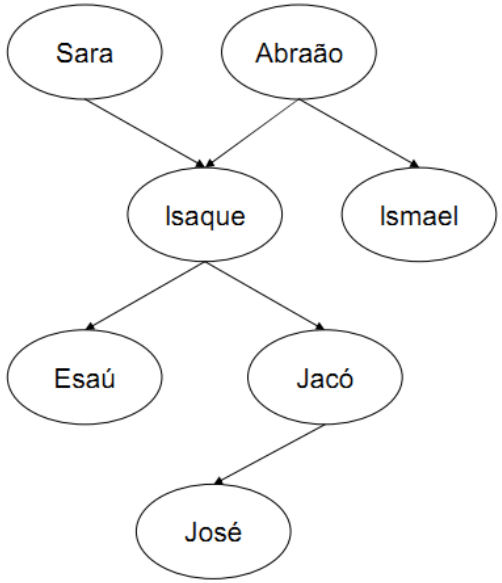
- **O Prolog responde:**

  false

- **O Prolog também pode responder a pergunta:**

  ?- progenitor(jacó,moisés).

  false



progenitor(sara,isaque).
progenitor(abraão,isaque).
progenitor(abraão,ismael).
progenitor(isaque,esaú).
progenitor(isaque,jacó).
progenitor(jacó,josé).

Definindo Relações por Fatos

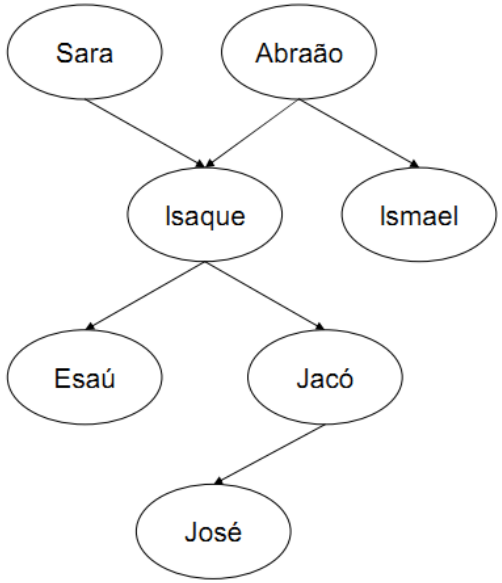
- Perguntas mais interessantes também podem ser efetuadas:

  Quem é o progenitor de Ismael?

  ?- progenitor(X,ismael).

- Neste caso, **o Prolog não vai responder apenas true ou false.** O Prolog fornecerá o valor de X tal que a pergunta acima seja verdadeira Assim a resposta é:

  X = abraão



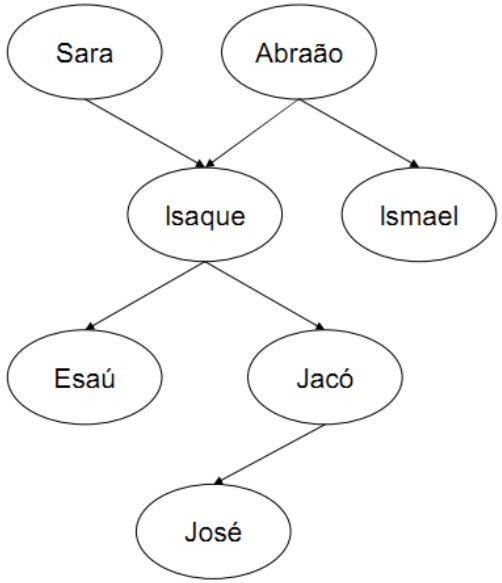

```
progenitor(sara,isaque).
progenitor(abraão,isaque).
progenitor(abraão,ismael).
progenitor(isaque,esaú).
progenitor(isaque,jacó).
progenitor(jacó,josé).
```

Definindo Relações por Fatos

- A pergunta "**Quais os filhos de Isaque?**" pode ser escrita como:

  ?- progenitor(isaque,X).

- Neste caso, há **mais de uma resposta possível**. O Prolog primeiro responde com uma solução:
  - X = esaú
- Pode-se requisitar uma **outra solução** (digitando ;) e o Prolog a encontra:
  - X = jacó
- Se mais soluções forem requisitadas, o Prolog ira responder "false", pois todas as soluções foram retornadas (false = sem mais soluções).




```
progenitor(sara,isaque).
progenitor(abraão,isaque).
progenitor(abraão,ismael).
progenitor(isaque,esaú).
progenitor(isaque,jacó).
progenitor(jacó,josé).
```

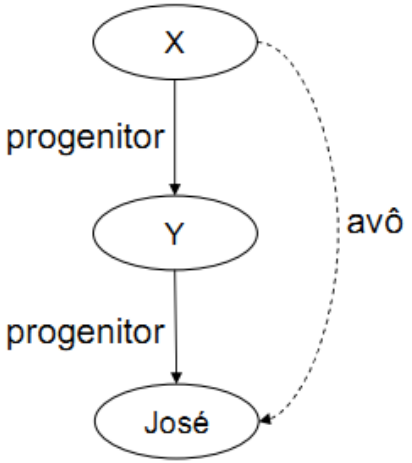
Definindo Relações por Fatos

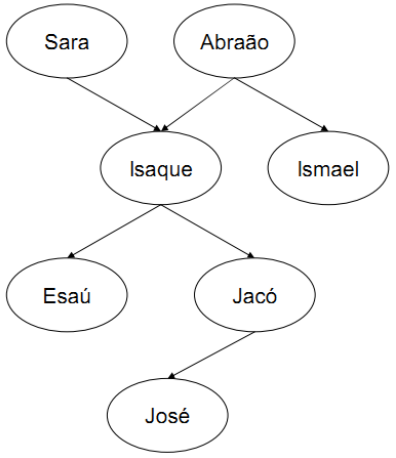
- Perguntas mais complexas também podem ser efetuadas, tais como: **Quem é o avô de José?**
- Como o programa não conhece diretamente a relação avô, esta pergunta deve ser desmembrada em dois passos
  - (1) Quem é o progenitor de José? Assuma que é um Y
  - (2) Quem é o progenitor de Y? Assuma que é um X
- Esta pergunta composta pode ser escrita em Prolog como:

  ?- progenitor(Y,josé), progenitor(X,Y).

  X = isaque

  Y = jacó





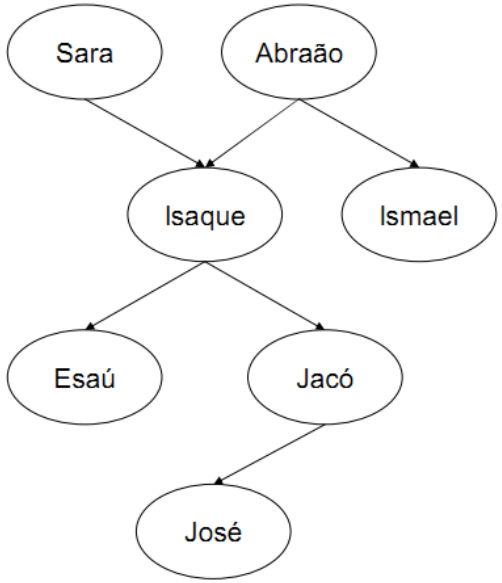
Definindo Relações por Fatos

- De maneira similar, podemos perguntar:
  Quem são os netos de Abraão?

  ?- progenitor(abraão,X), progenitor(X,Y).

  X = isaque
  Y = esaú

  X = isaque
  Y = jacó

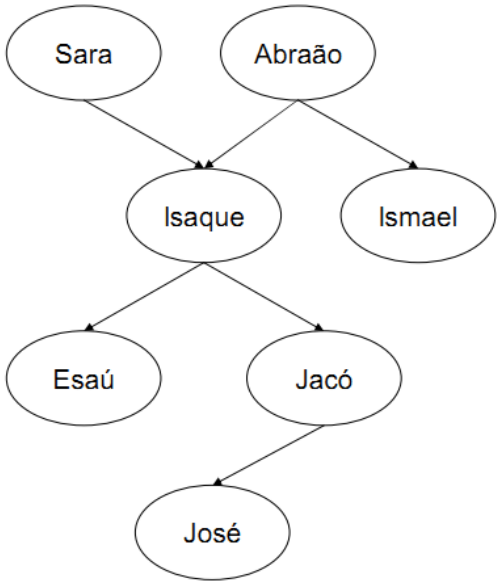


progenitor(sara,isaque).
progenitor(abraão,isaque).
progenitor(abraão,ismael).
progenitor(isaque,esaú).
progenitor(isaque,jacó).
progenitor(jacó,josé).

Definindo Relações por Fatos

- É possível **expandir o programa** sobre relações familiares de várias formas. Pode-se, por exemplo, adicionar a informação sobre o **sexo das pessoas** envolvidas.

```
mulher(sara).
homem(abraão).
homem(isaque).
homem(ismael).
homem(esaú).
homem(jacó).
homem(josé).
```



Definindo Relações por Regras

- Pode-se estender o programa utilizando **regras**. Por exemplo, criando a **relação filho** como o inverso da relação progenitor.

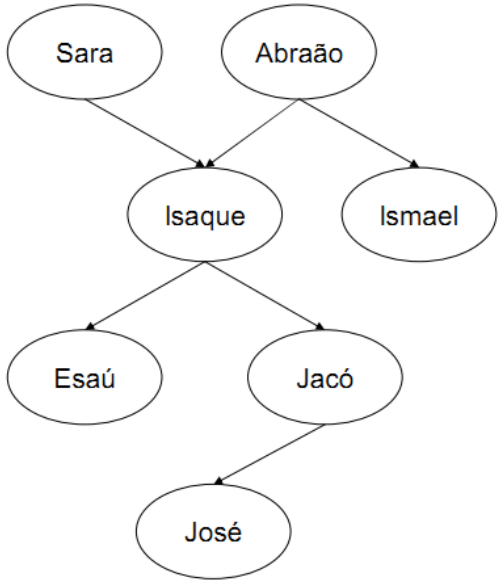
- É possível definir filho de maneira similar à relação progenitor, ou seja enumerando uma lista de fatos sobre a relação filho, mas **esta não é a forma correta!**

filho(isaque,sara).

filho(isaque,abraão).

filho(ismael,abraão).

...



progenitor(sara,isaque).
progenitor(abraão,isaque).
progenitor(abraão,ismael).
progenitor(isaque,esaú).
progenitor(isaque,jacó).
progenitor(jacó,josé).

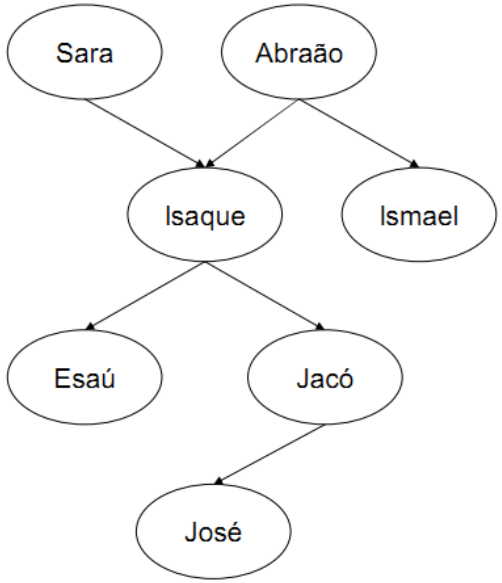
Definindo Relações por Regras

- A relação filho pode ser definida de modo mais elegante:

  Para todo X e Y, Y é um filho de X se X é um progenitor de Y.

- Em Prolog:

  filho(Y,X) :- progenitor(X,Y).



Definindo Relações por Regras

- A cláusula Prolog filho(Y,X) :- progenitor(X,Y) é chamada de **regra** (rule).

- Há uma diferença importante entre fatos e regras:
  - Um fato é sempre verdadeiro (verdade incondicional).
  - Regras especificam coisas que são verdadeiras se alguma condição é satisfeita.

Definindo Relações por Regras

- Após definir a regra filho, é possível perguntar ao Prolog se **Ismael é filho de Abraão**:

  ?- filho(ismael, abraão).

- Como não existem fatos sobre a relação filho, a única forma do Prolog responder esta pergunta é aplicando a **regra filho**:

  filho(Y,X) :- progenitor(X,Y).

- A regra filho é aplicável a qualquer objeto X e Y; portanto ela pode também ser aplicada a objetos ismael e abraão.

Definindo Relações por Regras

- Para aplicar a regra a ismael e abraão, Y tem que ser substituído por ismael e X por abraão. Ou seja, as variáveis X e Y estão instanciadas a:

  X = abraão e Y = ismael

- Depois da instanciação, obtêm-se um caso especial da regra:

  filho(ismael,abraão) :- progenitor(abraão,ismael).

- Se o Prolog **provar** que progenitor(abraão,ismael) é **verdadeiro**, então ele pode afirmar que filho(ismael,abraão) também é **verdade**.

Definindo Relações por Regras

- É possível também incluir a especificação da **relação mãe**, com base no seguinte fundamento lógico:

- Para todo X e Y,
  - X é a mãe de Y se
  - X é um progenitor de Y e
  - X é uma mulher.

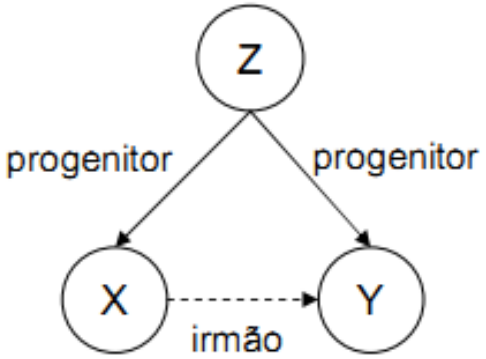
- Traduzindo para Prolog:

  mãe(X,Y) :- progenitor(X,Y), mulher(X).

Definindo Relações por Regras

- A relação **irmão** pode ser definida como:

- Para todo X e Y,
  - X é irmão de Y se
  - ambos X e Y têm um progenitor em comum.



- Em Prolog:

```
irmão(X,Y) :- progenitor(Z,X), progenitor(Z,Y).
```

Interpretação Prolog

- A **interpretação** do programa pode Prolog ser lógica ou procedimental.

- A interpretação procedimental corresponde a satisfazer cada **subgoal** mediante processos sucessivos de **matching**.

- Exemplo:

```
pai(fred, marcos).
pai(ricardo, pedro).
pai(pedro, paulo).
avo(X,Y) :- pai(X, Z), pai(Z, Y).
---
?- avo(X,paulo).
```

Programas Prolog

- Programas Prolog podem ser estendidos simplesmente pela adição de novas cláusulas.

- Cláusulas Prolog são de três tipos: fatos, regras e perguntas.

  - **Fatos** declaram coisas que são sempre (incondicionalmente) verdadeiras.
  - **Regras** declaram coisas que são verdadeiras dependendo de determinadas condições.
  - Através de **perguntas**, o usuário pode questionar o programa sobre quais coisas são verdadeiras.

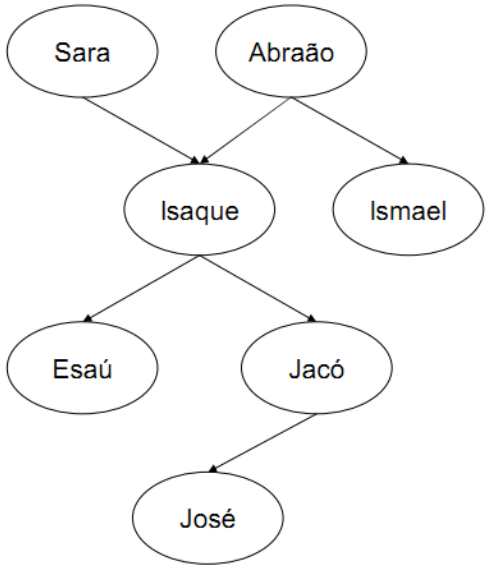
Regras Recursivas

- Para criar uma relação **ancestral** é necessária a criação de uma regra recursiva:

  ancestral(X,Z) :- progenitor(X,Z).
  ancestral(X,Z) :- progenitor(X,Y), ancestral(Y,Z).

- Quais os descendentes de Sara?

  ?- ancestral(sara,X).
  X = isaque;
  X = esaú;
  X = jacó;
  X = josé



Programa Exemplo

```
progenitor(sara,isaque).
progenitor(abraão,isaque).
progenitor(abraão,ismael).
progenitor(isaque,esaú).
progenitor(isaque,jacó).
progenitor(jacó,josé).

mulher(sara).
homem(abraão).
homem(isaque).
homem(ismael).
homem(esaú).
homem(jacó).
homem(josé).
```

```
filho(Y,X) :- progenitor(X,Y).

mae(X,Y) :- progenitor(X,Y), mulher(X).

avo(X,Z) :- progenitor(X,Y), progenitor(Y,Z).

irmao(X,Y) :- progenitor(Z,X), progenitor(Z,Y).

ancestral(X,Z) :- progenitor(X,Z).

ancestral(X,Z) :- progenitor(X,Y), ancestral(Y,Z).
```

Variáveis

- **Variáveis** são representadas através de cadeias de letras, números ou _ sempre começando com letra maiúscula:
  - X, Resultado, Objeto3, Lista_Alunos, ListaCompras...

- O **escopo de uma variável** é valido dentro de uma mesma regra ou dentro de uma pergunta.

  - Isto significa que se a variável X ocorre em duas regras/perguntas, então são duas variáveis distintas.

  - A ocorrência de X dentro de uma mesma regra/pergunta significa a mesma variável.

Variáveis

- Uma variável pode estar:
  - **Instanciada:** Quando a variável já referencia (está unificada a) algum objeto.
  - **Livre ou não-instanciada:** Quando a variável não referencia (não está unificada a) um objeto.
- Uma vez instanciada, somente Prolog pode torná-la não-instanciada através de seu mecanismo de inferência (nunca o programador).

Variável Anônima

- **Variáveis anônimas** podem ser utilizadas em sentenças cujo valor atribuído a variável não é importante. Por exemplo, a regra tem_filho:

```
Tem_filho(X) :- progenitor(X,Y).
```

- Para relação “ter filhos” não é necessário saber o nomes dos filhos. Neste vaso utiliza-se uma variável anônima representada por “_”.

```
Tem_filho(X) :- progenitor(X,_).
```

Variável Anônima

- Cada vez que uma variável anônima aparece em uma cláusula, ele representa uma **nova variável** anônima. Por exemplo:

```
alguém_tem_filho :- progenitor(_,_).
```

- É equivale à:

```
alguém_tem_filho :- progenitor(X,Y).
```

Estruturas

- **Objetos estruturados** são objetos de dados com vários componentes.

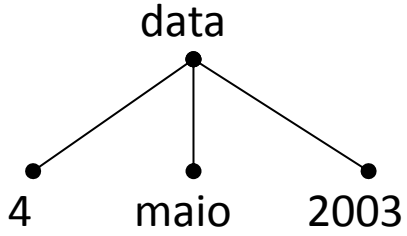
- Cada componente da estrutura pode ser outra estrutura.

- Por exemplo, uma data pode ser vista como uma estrutura com três componentes: dia, mês, ano.

  – data(4,maio,2003)

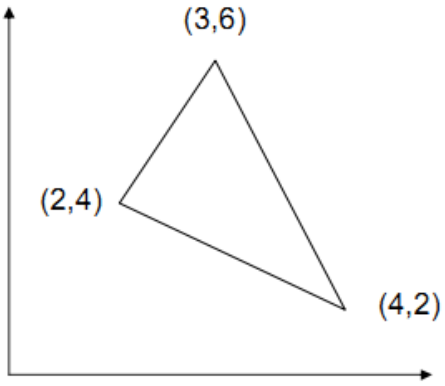
Estruturas

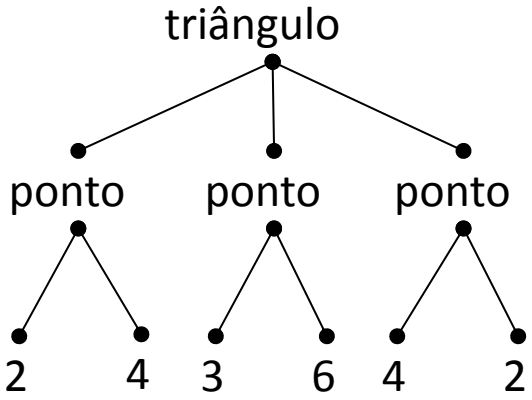
- Todos os objetos estruturados são representados como **árvores**.
- A raiz da árvore é o funtor e os filhos da raiz são os componentes.
- data(4,maio,2003):



Estruturas

- Um triângulo pode ser representado da seguinte forma:
  - triângulo(ponto(2,4), ponto(3,6), ponto(4,2))





Operadores

Operadores Aritméticos	
Adição	+
Subtração	-
Multiplicação	*
Divisão	/
Divisão Inteira	//
Resto da Divisão	Mod
Potência	**
Atribuição	is

Operadores Relacionais	
X > Y	X é maior do que Y
X < Y	X é menor do que Y
X >= Y	X é maior ou igual a Y
X =< Y	X é menor ou igual a Y
X == Y	X é igual a Y
X = Y	X unifica com Y
X \== Y	X é diferente de Y

Operadores

- O operador “=” realiza apenas a **unificação de termos**:

  ?- X = 1 + 2.

  X = 1 + 2

- O operador “is” **força a avaliação aritmética**:

  ?- X is 1 + 2.

  X = 3

Operadores

- Se a variável à esquerda do operador “is” já estiver instanciada, o Prolog apenas compara o valor da variável com o resultado da expressão à direita de “is”:

  ?- X = 3, X is 1 + 2.

  X = 3

  ?- X = 5, X is 1 + 2.

  false

Unificação de Termos

- Dois termos se unificam (matching) se:
  - Eles são idênticos ou as variáveis em ambos os termos podem ser instanciadas a objetos de maneira que após a substituição das variáveis os termos se tornam idênticos.
- Por exemplo, existe a unificação entre os termos **data(D,M,2003)** e **data(D1,maio,A)** instanciando D = D1, M = maio, A = 2003.

Unificação de Termos

data(D,M,2003) = data(D1,maio,A), data(D,M,2003) = data(15,maio,A1).

D = 15

M = maio

D1 = 15

A = 2003

A1 = 2003

- Por outro lado, **não existe** unificação entre os termos:

data(D,M,2003), data(D1,M1,1948)

Unificação de Termos

- A **unificação** é um processo que toma dois termos e verifica se eles unificam:
  - Se os termos não unificam, o processo falha (e as variáveis não se tornam instanciadas).
  - Se os termos unificam, o processo tem sucesso e também instancia as variáveis em ambos os termos para os valores que os tornam idênticos.

Unificação de Termos

- As regras que regem se dois termos S e T unificam são:
  - **Se S e T são constantes**, então S e T unificam somente se são o mesmo objeto.
  - **Se S for uma variável e T for qualquer termo**, então unificam e S é instanciado para T.
  - **Se S e T são estruturas**, elas unificam somente se
    - S e T têm o mesmo funtor principal.
    - Todos seus componentes correspondentes unificam.

Comparação de Termos

Operadores Relacionais	
X = Y	X unifica com Y, é verdadeiro quando dois termos são o mesmo. Entretanto, se um dos termos é uma variável, o operador = causa a instanciação da variável.
X \= Y	X não unifica com Y
X == Y	X é literalmente igual a Y (igualdade literal), que é verdadeiro se os termos X e Y são idênticos, ou seja, eles têm a mesma estrutura e todos os componentes correspondentes são os mesmos, incluindo o nome das variáveis.
X \== Y	X não é literalmente igual a Y que é o complemento de X==Y

Comparação de Termos

?- f(a,b) == f(a,b).

true

?- f(a,b) == f(a,X).

false

?- f(a,X) == f(a,Y).

false

?- X == X.

true

?- X == Y.

false

?- X \== Y.

true

?- g(X,f(a,Y)) == g(X,f(a,Y)).

true

Predicados para Verificação de Tipos de Termos

Predicado	**Verdadeiro se:**
var(X)	X é uma variável não instanciada
nonvar(X)	X não é uma variável ou X é uma variável instanciada
atom(X)	X é uma sentença atômica
integer(X)	X é um inteiro
float(X)	X é um número real
atomic(X)	X é uma constante
compound(X)	X é uma estrutura

Predicados para Verificação de Tipos de Termos

?- var(Z), Z = 2.

Z = 2

?- Z = 2, var(Z).

false

?- integer(Z), Z = 2.

false

?- Z = 2, integer(Z), nonvar(Z).

Z = 2

?- atom(3.14).

false

?- atomic(3.14).

true

?- atom(==>).

true

?- atom(p(1)).

false

?- compound(2+X).

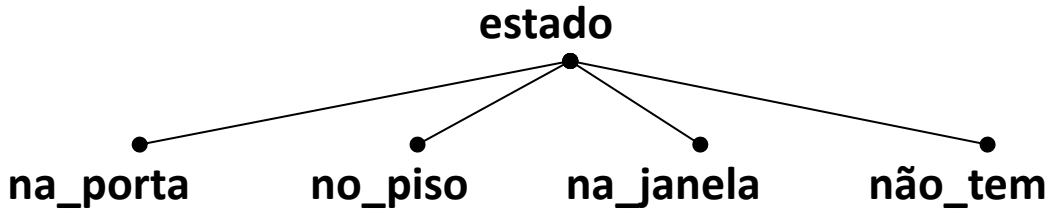
true

Exemplo: Macaco e as Bananas

- Um macaco encontra-se próximo à porta de uma sala. No meio da sala há uma banana pendurada no teto. O macaco tem fome e quer comer a banana mas ela está a uma altura fora de seu alcance. Perto da janela da sala encontra-se uma caixa que o macaco pode utilizar para alcançar a banana. O macaco pode realizar as seguintes ações:
  - Caminhar no chão da sala;
  - Subir na caixa (se estiver ao lado da caixa);
  - Empurrar a caixa pelo chão da sala (se estiver ao lado da caixa);
  - Pegar a banana (se estiver parado sobre a caixa diretamente embaixo da banana).

Exemplo: Macaco e as Bananas

- É conveniente combinar essas 4 informações em uma **estrutura de estado**:



- O estado inicial é determinado pela posição dos objetos.

- O estado final é qualquer estado onde o último componente da estrutura é “tem”:

  estado(_,_,_,tem)

Exemplo: Macaco e as Bananas

- Possíveis valores para os argumentos da **estrutura estado**:
  - **1º argumento** (posição do macaco):
    na_porta, no_centro, na_janela
  - **2º argumento** (posição vertical do macaco):
    no_chão, acima_caixa
  - **3º argumento** (posição da caixa):
    na_porta, no_centro, na_janela
  - **4º argumento** (macaco tem ou não tem banana): tem, não_tem

Exemplo: Macaco e as Bananas

- **Movimentos permitidos** que alteram o mundo de um estado para outro:
  - Pegar a banana;
  - Subir na caixa;
  - Empurrar a caixa;
  - Caminhar no chão da sala;
- **Nem todos os movimentos são possíveis** em cada estado do mundo. Por exemplo, “pegar a banana” somente é possível se o macaco estiver em cima da caixa, diretamente em baixo da banana e o macaco ainda não possuir a banana.

Exemplo: Macaco e as Bananas

- Formalizando o problema em Prolog é possível estabelecer a seguinte relação:

  move(Estado1,Movimento,Estado2)

- Onde:
  - Estado1 é o estado antes do movimento (**pré-condição**);
  - Movimento é o movimento executado;
  - Estado2 é o estado após o movimento;

Exemplo: Macaco e as Bananas

- O movimento “pegar a banana” pode ser definido por:

```
move(
        estado(no_centro, acima_caixa, no_centro, não_tem),
        pegar_banana,
        estado(no_centro, acima_caixa, no_centro, tem)
).
```

- Este fato diz que após o movimento “pegar_banana” o macaco tem a banana e ele permanece em cima da caixa no meio da sala.

Exemplo: Macaco e as Bananas

- Também é necessário expressar o fato que o macaco no chão pode caminhar de qualquer posição “Pos1” para qualquer posição “Pos2”:

```
move(
        estado(Pos1, no_chão, Caixa, Banana),
        caminhar(Pos1,Pos2),
        estado(Pos2, no_chão, Caixa, Banana)
).
```

- De maneira similar, é possível especificar os movimentos “empurrar” e “subir”.

Exemplo: Macaco e as Bananas

- A pergunta principal que o programa deve responder é:

  O macaco consegue, a partir de um **estado inicial**, pegar as bananas?

Exemplo: Macaco e as Bananas

- Para isso é necessário formular duas regras que definam **quando o estado final é alcançável**:
  - **Para qualquer estado no qual o macaco já tem a banana**, o predicado "consegue" certamente deve ser verdadeiro e nenhum movimento é necessário:

    ```
    consegue(estado(_,_,_,tem)).
    ```

  - **Nos demais casos,** um ou mais movimentos são necessários; o macaco pode obter a banana em qualquer estado "Estado1" se existe algum movimento de "Estado1" para algum estado "Estado2" tal que o macaco consegue pegar a banana no "Estado2":

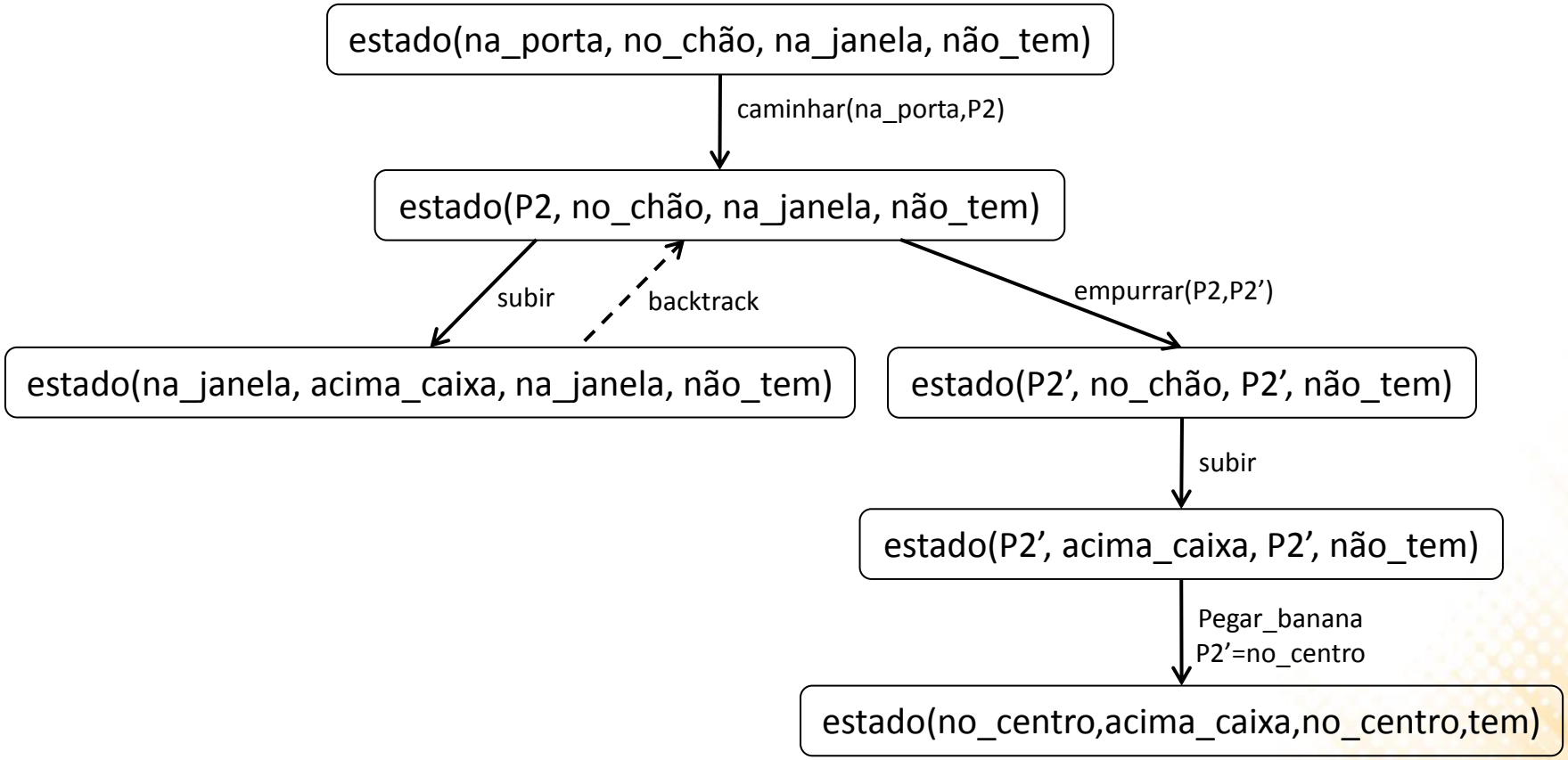
    ```
    consegue(Estado1) :- move(Estado1, Movimento, Estado2),
                         consegue(Estado2).
    ```

Exemplo: Macaco e as Bananas

```
move(
        estado(no_centro, acima_caixa, no_centro, não_tem),
        pegar_banana,
        estado(no_centro, acima_caixa, no_centro,tem)
).
move(
        estado(P, no_chão, P, Banana),
        subir,
        estado(P, acima_caixa, P, Banana)
).
move(
        estado(P1, no_chão, P1, Banana),
        empurrar(P1, P2),
        estado(P2, no_chão, P2, Banana)
).
move(
        estado(P1, no_chão, Caixa, Banana),
        caminhar(P1, P2),
        estado(P2, no_chão, Caixa, Banana)
).
consegue(estado(_, _, _, tem)).
consegue(Estado1) :- move(Estado1, Movimento, Estado2), consegue(Estado2).
```

Exemplo: Macaco e as Bananas

- ?- consegue(estado(na_porta, no_chão, na_janela, não_tem)).



Listas

- **Lista** é uma das estruturas mais simples em Prolog e pode ser aplicada em diversas situações.

- Uma lista pode ter qualquer comprimento.

- Uma lista contendo os elementos “ana”, “tênis” e “pedro” pode ser escrita em Prolog como:

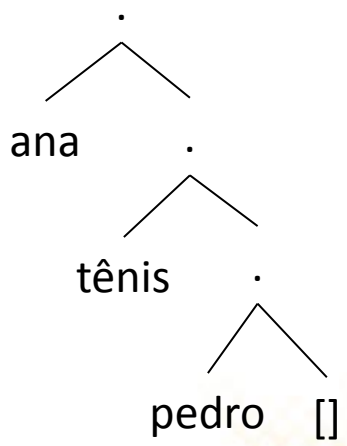
  [ana, tênis, pedro]

Listas

- O uso de colchetes é apenas uma melhoria da notação, pois internamente listas são representadas como árvores, assim como todos objetos estruturados em Prolog.

- Internamente o exemplo [ana, tênis, pedro] é representando da seguinte maneira:

  .(ana, .(tênis, .(pedro, [])))



Listas

?- Lista1 = [a,b,c], Lista2 = .(a,.(b,.(c,[]))).

Lista1 = [a, b, c]

Lista2 = [a, b, c]

?- Hobbies1 = .(tênis, .(música,[])), Hobbies2 = [esqui, comida], L = [ana,Hobbies1,pedro,Hobbies2].

Hobbies1 = [tênis,música]

Hobbies2 = [esqui,comida]

L = [ana, [tênis,música], pedro, [esqui,comida]]

Listas

- Para entender a representação de listas do Prolog, é necessário considerar dois casos:
  - Lista vazia [].
  - E lista não vazia, onde:
    - O primeiro item é chamado de cabeça (head) da lista.
    - A parte restante da lista é chamada cauda (tail).
- No exemplo [ana, tênis, pedro]:
  - ana é a Cabeça da lista.
  - [tênis, pedro] é a Cauda da lista.

Listas

- Em geral, é comum tratar a cauda como um objeto simples. Por exemplo, L = [a,b,c] pode ser escrito como:

  Cauda = [b,c]

  L = [a, Cauda]

- O Prolog também fornece uma notação alternativa para separar a cabeça da cauda de uma lista, a barra vertical:

  L = [a | Cauda]

Operações em Listas - Busca

- Frequentemente existe a necessidade de se realizar operações em listas, por exemplo, buscar um elemento que faz parte de uma lista.

- Para verificar se um nome está na lista, é preciso verificar se ele está na cabeça ou se ele está na cauda da lista.

Operações em Listas - Busca

- A primeira regra para verificar se um elemento X pertence à lista é **verificar se ele se encontra na cabeça da lista**. Isto pode ser especificado da seguinte maneira:

  pertence(X,[X|Z]).

- A segunda condição deve **verificar se o elemento X pertence à cauda da lista**. Esta regra pode ser especificada da seguinte maneira:

  pertence(X,[W|Z]) :- pertence(X,Z).

Operações em Listas - Busca

- O programa para buscar por um item em uma lista pode ser escrito da seguinte maneira:

```
pertence(Elemento,[Elemento|Cauda]).
pertence(Elemento,[Cabeca|Cauda]) :- pertence(Elemento,Cauda).
```

- Após a definição do programa, é possível interrogá-lo.

```
?- pertence(a,[a,b,c]).
true
```

Operações em Listas - Busca

?- pertence(d,[a,b,c]).

false

?- pertence(X,[a,b,c]).

X = a ;

X = b ;

X = c ;

false

- E se as perguntas forem:

  ?- pertence(a,X).

  ?- pertence(X,Y).

- Existem infinitas respostas.

Operações em Listas – Último Elemento

- O último elemento de uma lista que tenha somente um elemento é o próprio elemento:

```
ultimo(Elemento, [Elemento]).
```

- O último elemento de uma lista que tenha mais de um elemento é o ultimo elemento da cauda:

```
ultimo(Elemento, [Cabeca|Cauda]) :- ultimo(Elemento, Cauda).
```

- Programa completo:

```
ultimo(Elemento, [Elemento]).
ultimo(Elemento, [Cabeca|Cauda]) :- ultimo(Elemento, Cauda).
```

Exemplo: Macaco e as Bananas

```
move(
        estado(no_centro, acima_caixa, no_centro, não_tem),
        pegar_banana,
        estado(no_centro,acima_caixa,no_centro,tem)
).
move(
        estado(P,no_chão,P,Banana),
        subir,
        estado(P,acima_caixa,P,Banana)
).
move(
        estado(P1,no_chão,P1,Banana),
        empurrar(P1,P2),
        estado(P2,no_chão,P2,Banana)
).
move(
        estado(P1,no_chão,Caixa,Banana),
        caminhar(P1,P2),
        estado(P2,no_chão,Caixa,Banana)
).
consegue(estado(_,_,_,tem),[]).
consegue(Estado1,[Movimento|Resto]) :-  move(Estado1,Movimento,Estado2), consegue(Estado2,Resto).
```

Adicionando Novos Fatos a Base de Conhecimento

- O predicado **assert** é utilizado pelo Prolog para adicionar novas sentenças na base de conhecimento.

- **Exemplos:**
  - assert(homem(joao)).
  - assert(filho(Y,X) :- progenitor(X,Y)).

Adicionando Novos Fatos a Base de Conhecimento

- O predicado **assert** permite adicionar **fatos** e **regras** a base de conhecimento.

- Normalmente, o SWI-Prolog compila o código de forma que **não é possível modificar** fatos durante a execução do programa.

- Para indicar ao Prolog que determinada sentença pode ser modificado durante a execução do programa é possível utilizar o predicado **dynamic**.

- **Exemplo:**
  - :- dynamic homem/1.

Removendo Fatos da Base de Conhecimento

- Também é possível **remover** fatos e regras da base de conhecimento utilizando o predicado **retract**.

- Funciona de forma similar ao assert.

- **Exemplos:**
  - retract(homem(joao)).
  - retract(filho(Y,X) :- progenitor(X,Y)).

Predicados do SWI-Prolog

- O SWI-Prolog inclui diversas sentenças predefinidas para para diversos usos, como por exemplo:
  - Manipulação de listas;
  - Comparação de tipos de dados;
  - Leitura e escrita de dados em arquivos;
  - Entrada e saída de dados pelo console;
  - Manipulação de arquivos;
  - Execução de comandos no sistema operacional;
  - Entre outros.

- http://www.swi-prolog.org/pldoc/refman/

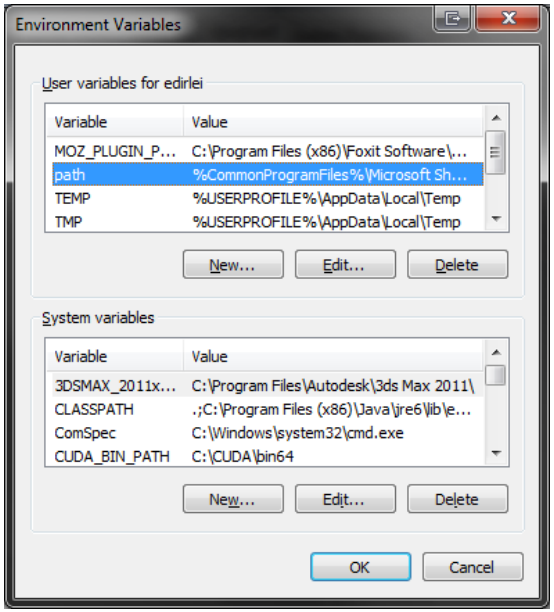
Utilizando o SWI-Prolog em C++ e Java

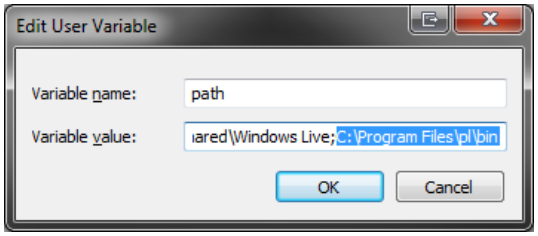
- Download:
  - http://www.swi-prolog.org/download/stable

Configuração - Windows

- Control Panel -> System ->Advanced-> Environment Variables

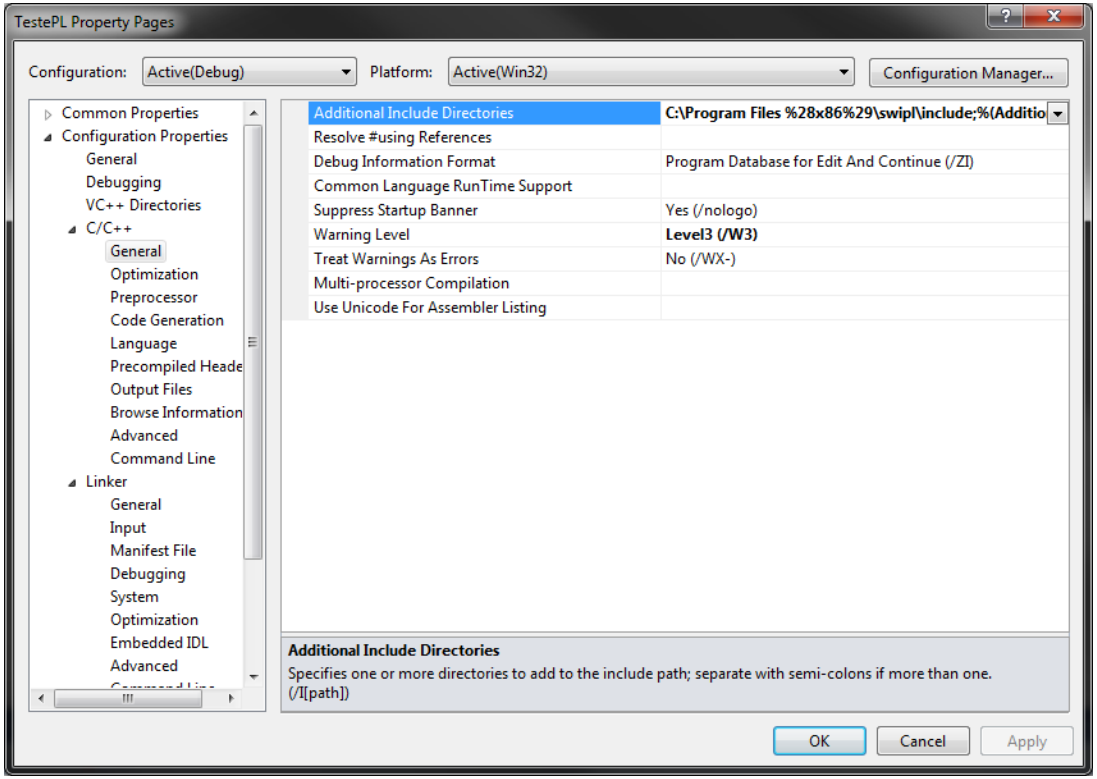
- Adicionar o diretório “C:\Program Files (x86)\swipl\bin” a variável “PATH” do sistema.





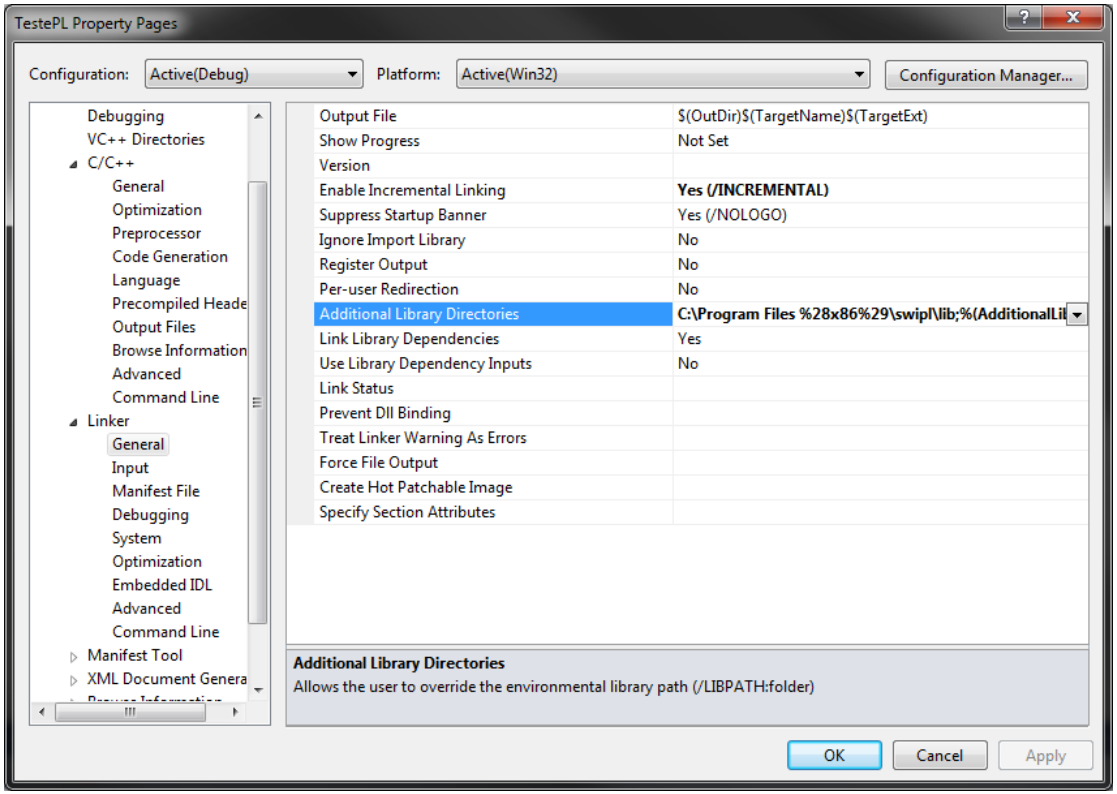
Configuração - Visual Studio

- Include Directory: “C:\Program Files (x86)\swipl\include”



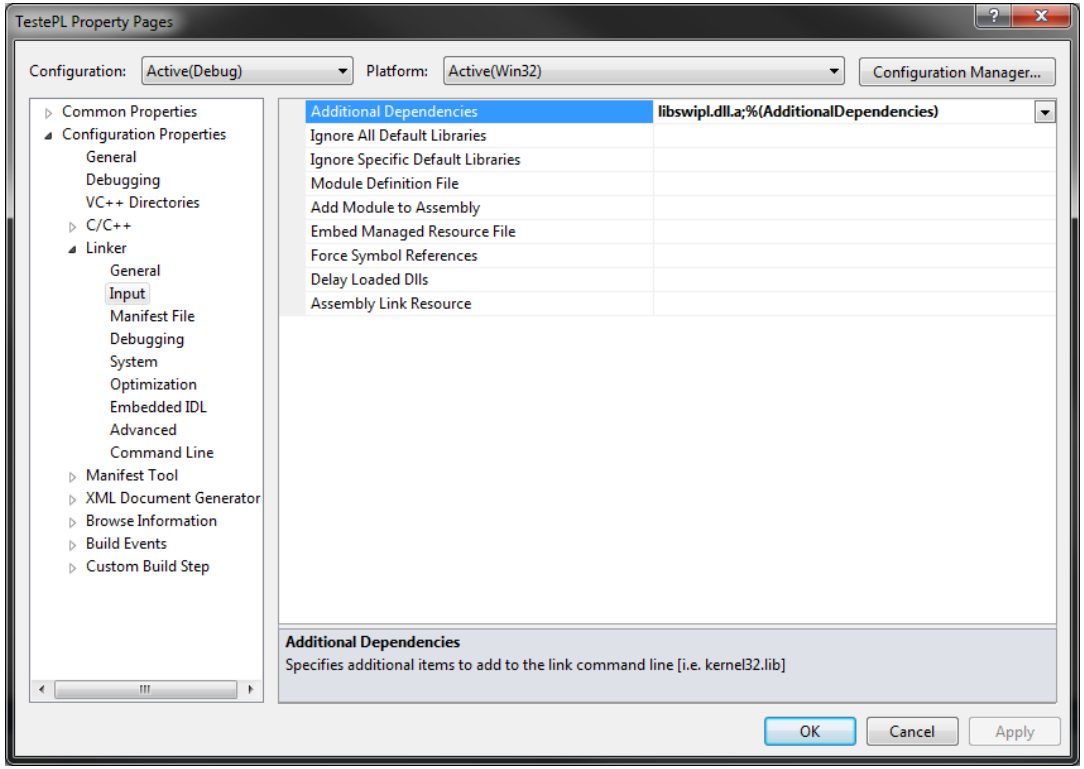
Configuração - Visual Studio

- Library Directory: “C:\Program Files (x86)\swipl\lib”



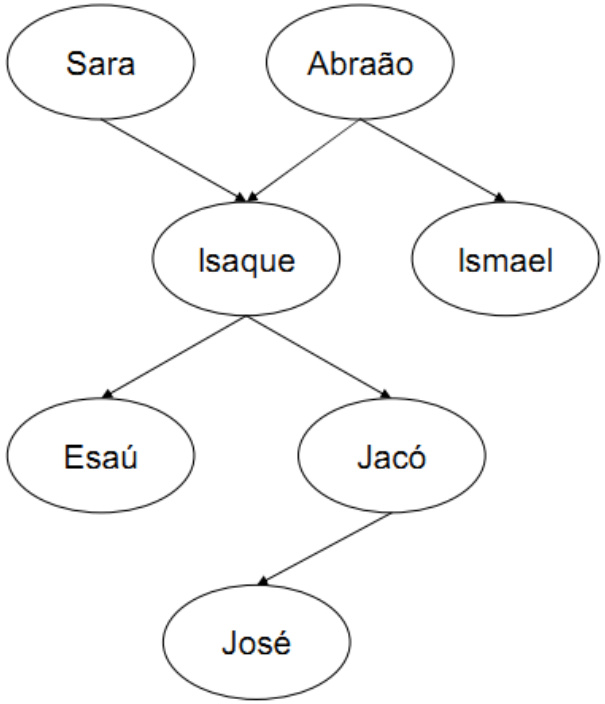
Configuração – Visual Studio

- Dependência: libswipl.dll.a



Exemplo de Programa Prolog

```
progenitor(sara,isaque).
progenitor(abraao,isaque).
progenitor(abraao,ismael).
progenitor(isaque,esau).
progenitor(isaque,jaco).
progenitor(jaco,jose).

mulher(sara).
homem(abraao).
homem(isaque).
homem(ismael).
homem(esau).
homem(jaco).
homem(jose).

filho(Y,X) :- progenitor(X,Y).
mae(X,Y) :- progenitor(X,Y), mulher(X).
avo(X,Z) :- progenitor(X,Y), progenitor(Y,Z).
irmao(X,Y) :- progenitor(Z,X), progenitor(Z,Y).
ancestral(X,Z) :- progenitor(X,Z).
ancestral(X,Z) :- progenitor(X,Y), ancestral(Y,Z).
```

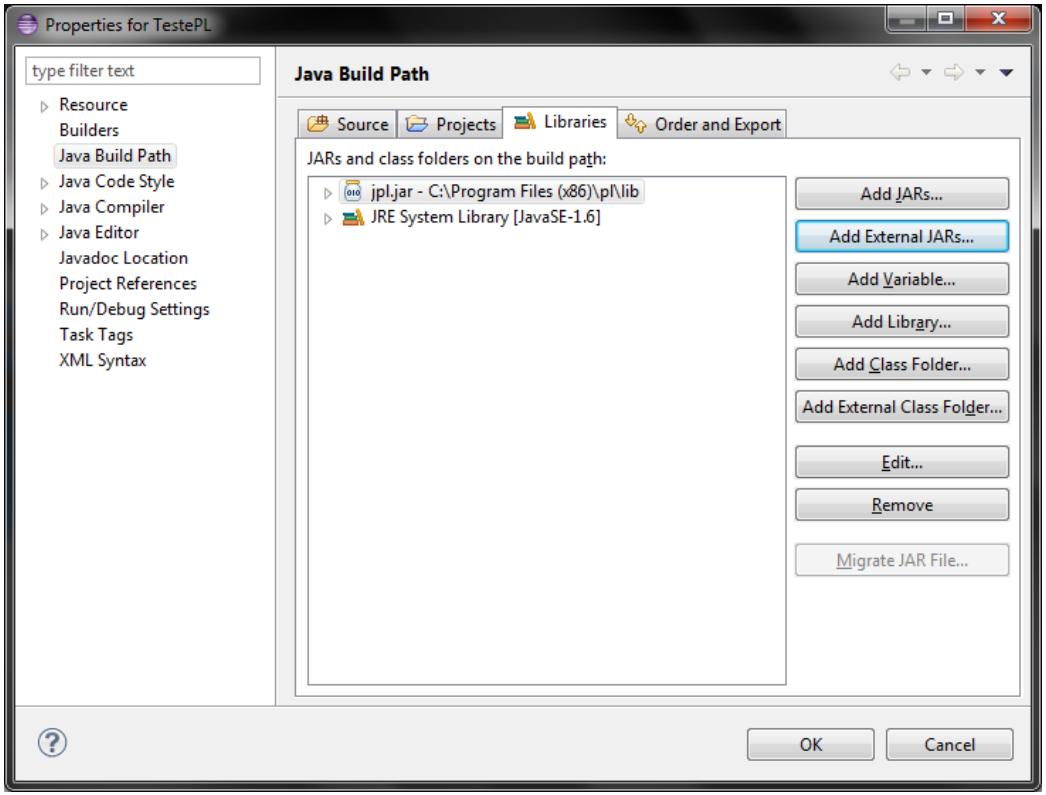


Exemplo de Programa em C++

```
#include <SWI-cpp.h>
#include <iostream>

using namespace std;

int main(){
    char* argv[] = {"swipl.dll", "-s", "D:\\teste.pl", NULL};
    _putenv("SWI_HOME_DIR=C:\\Program Files (x86)\\swipl");

    PlEngine e(3,argv);

    PlTermv av(2);
    av[1] =  PlCompound("jose");
    PlQuery q("ancestral", av);

    while (q.next_solution())
    {
           cout << (char*)av[0] << endl;
    }

    cin.get();
    return 1;
}
```

Configuração - Eclipse

- Build Path -> Configure Build Path -> Libraries
  - Add External JARs: “C:\Program Files (x86)\swipl\lib\jpl.jar”



Exemplo de Programa em Java

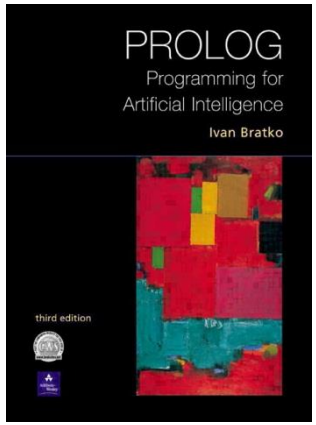
```
import jpl.*;
import java.lang.System;
import java.util.Hashtable;

public class Main
{
  public static void main(String[] args)
  {
    Query q1 = new Query("consult", new Term[] {new Atom("D:\\teste.pl")});
    System.out.println("consult " + (q1.query() ? "succeeded" : "failed"));
    Query q2 = new Query("ancestral(X, jose)");
    Hashtable[] solution = q2.allSolutions();
    if (solution != null)
    {
      for (int i = 0; i < solution.length; i++)
        System.out.println("X = " + solution[i].get("X"));
    }
  }
}
```

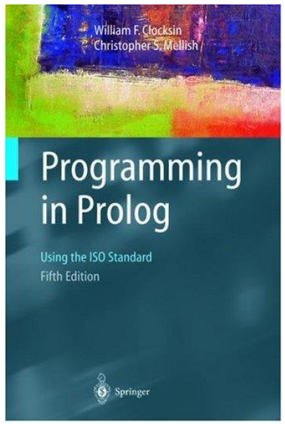
Manual

- http://www.swi-prolog.org/pldoc/index.html

Bibliografia Complementar

- Bratko, I., “**Prolog Programming for Artificial Intelligence**” (3rd edition), Addison Wesley, 2000.





- Clocksin, W.F., Mellish, C.S., “**Programming in Prolog**” (5th edition), Springer, 2003.

- Sterling, L., Shapiro, E., “**The Art of Prolog**” (2th edition), MIT Press, 1994.