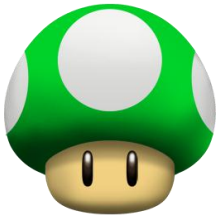
INF 1771 – Inteligência Artificial

Aula 09 – Prolog

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



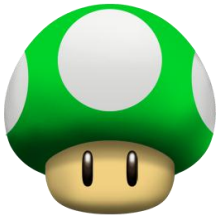
Variáveis

- **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.

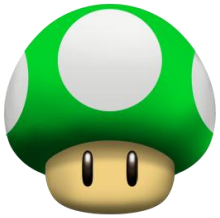
  - Isto significa que se a variável X ocorre em duas regras/perguntas, então são duas variáveis distintas.

  - 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).



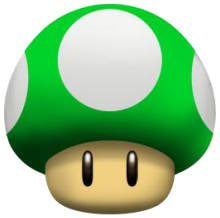
Variável Anônima

- **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,_).
```



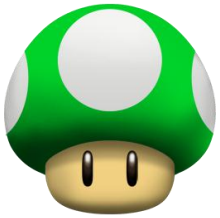
Variável Anônima

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

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

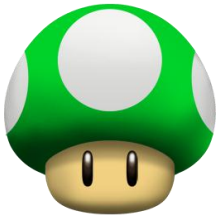
- É equivale à:

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



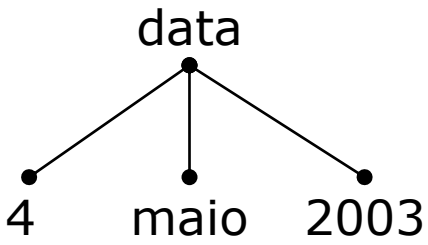
Estruturas

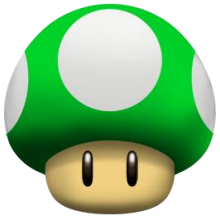
- **Objetos estruturados** são objetos de dados com vários componentes.
- Cada componente da estrutura pode ser outra estrutura.
- Por exemplo, uma data pode ser vista como uma estrutura com três componentes: dia, mês, ano.
  - data(4,maio,2003)



Estruturas

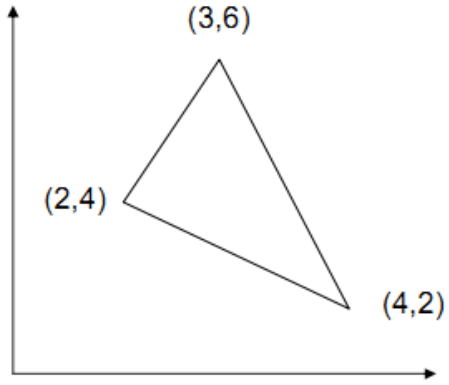
- Todos os objetos estruturados são representados como **árvores**.
- A raiz da árvore é o funtor e os filhos da raiz são os componentes.
- data(4,maio,2003):

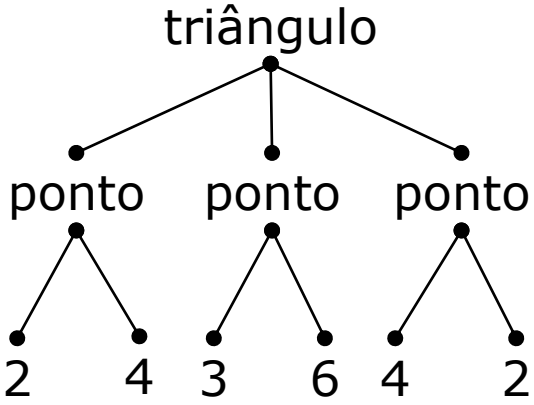


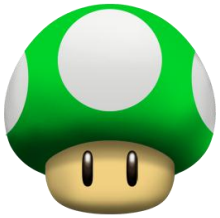


Estruturas

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



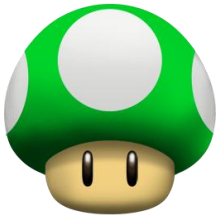




Operadores

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



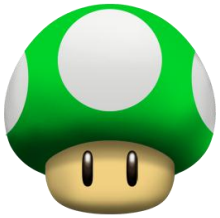
Operadores

- 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

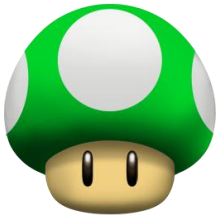
- Se a variável à esquerda do operador “is” já estiver instanciada, o Prolog apenas compara o valor da variável com o resultado da expressão à direita de “is”:

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

  X = 3

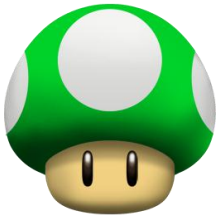
  ?- X = 5, X is 1 + 2.

  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.



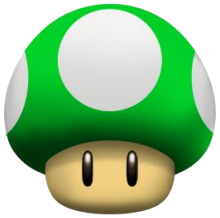
Unificação de Termos

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

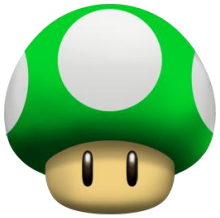
- Por outro lado, **não existe** unificação entre os termos:

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



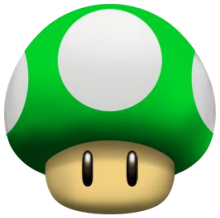
Unificação de Termos

- 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.



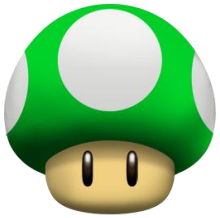
Unificação de Termos

- 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.



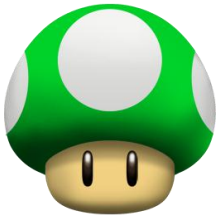
Comparação de Termos

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



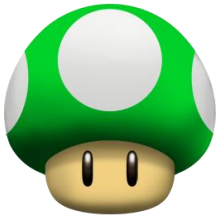
Comparação de Termos

?- 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



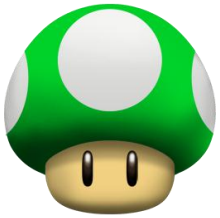
Predicados para Verificação de Tipos de Termos

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 um átomo
integer(X)	X é um inteiro
float(X)	X é um número real
atomic(X)	X é uma constante (átomo ou número)
compound(X)	X é uma estrutura



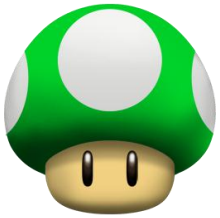
Predicados para Verificação de Tipos de Termos

?- 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



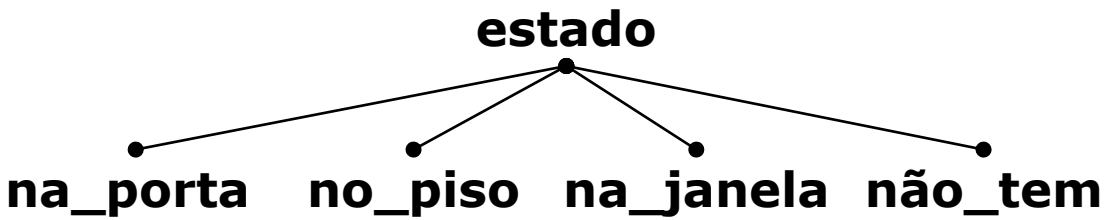
Exemplo: Macaco e as Bananas

- 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

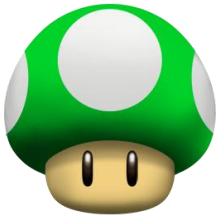
- É conveniente combinar essas 4 informações em uma **estrutura de estado**:



- O estado inicial é determinado pela posição dos objetos.

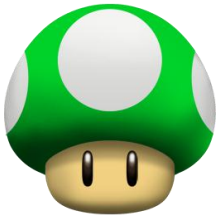
- O estado final é qualquer estado onde o último componente da estrutura é "tem":

  estado(_,_,_,tem)



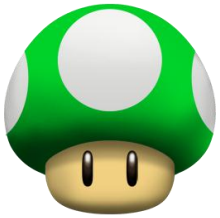
Exemplo: Macaco e as Bananas

- 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.

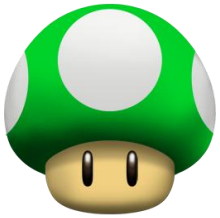


Exemplo: Macaco e as Bananas

- 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;

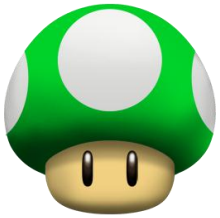


Exemplo: Macaco e as Bananas

- 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.

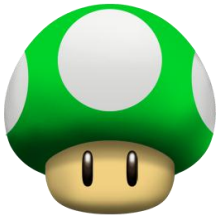


Exemplo: Macaco e as Bananas

- 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)
).
```

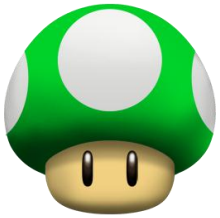
- De maneira similar, é possível especificar os movimentos "empurrar" e "subir".



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?



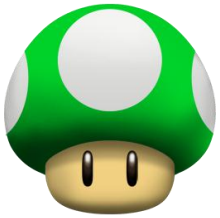
Exemplo: Macaco e as Bananas

- 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)).
```

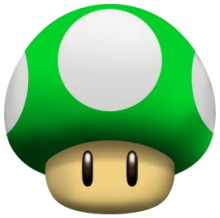
  - **Nos demais casos,** um ou mais movimentos são necessários; o macaco pode obter a banana em qualquer estado "Estado1" se existe algum movimento de "Estado1" para algum estado "Estado2" tal que o macaco consegue pegar a banana no "Estado2":

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



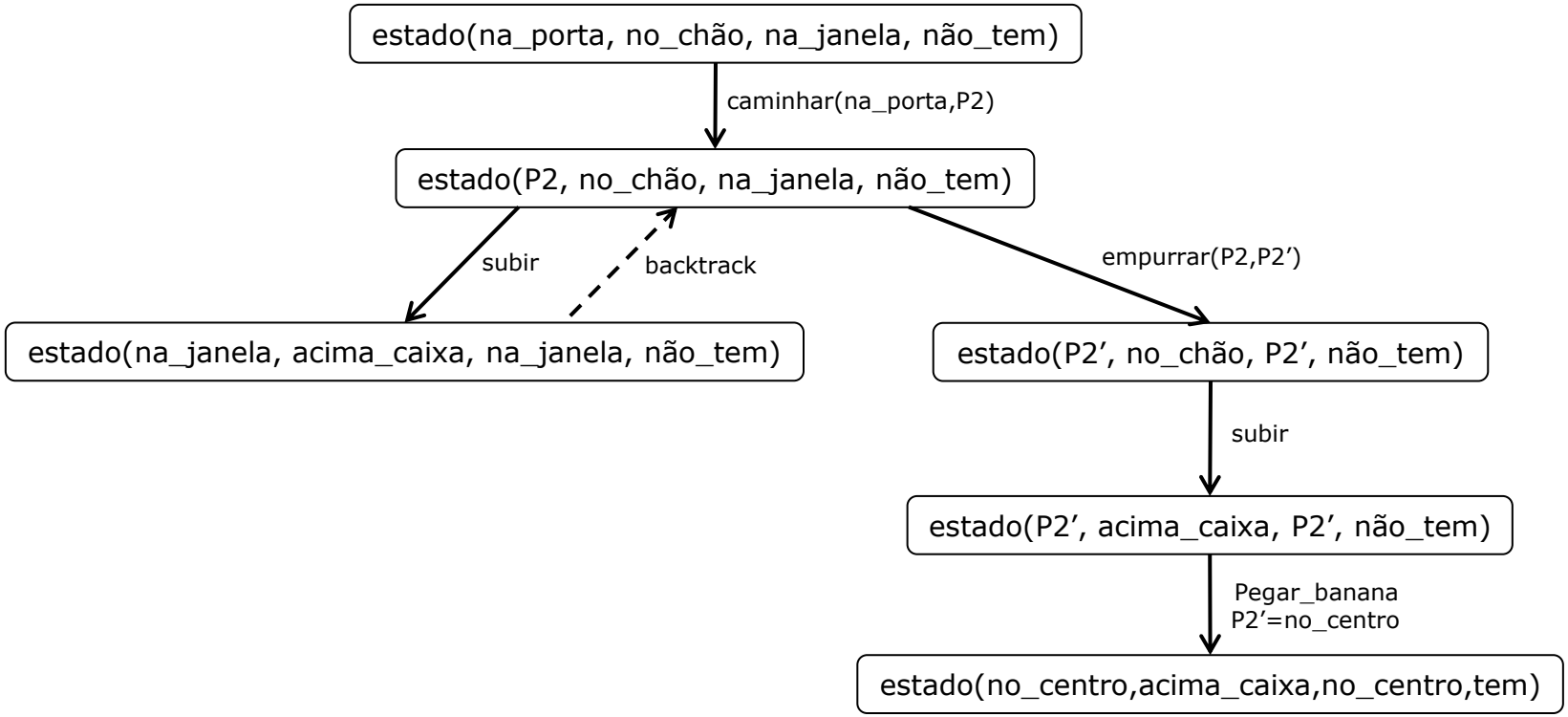
Exemplo: Macaco e as Bananas

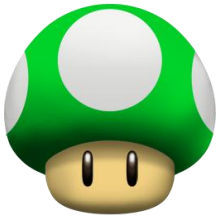
```
move(
        estado(no_centro, acima_caixa, no_centro, não_tem),
        pegar_banana,
        estado(no_centro, acima_caixa, no_centro,tem)
).
move(
        estado(P, no_chão, P, Banana),
        subir,
        estado(P, acima_caixa, P, Banana)
).
move(
        estado(P1, no_chão, P1, Banana),
        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)).





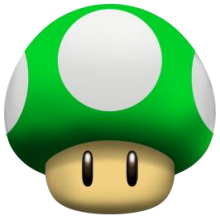
Listas

- **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]

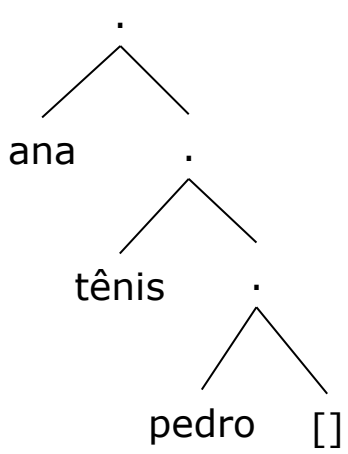


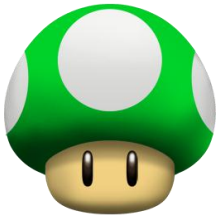
Listas

- 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]

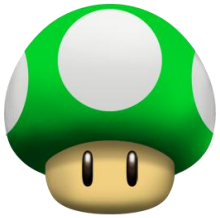
Lista2 = [a, b, c]

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

Hobbies1 = [tênis,música]

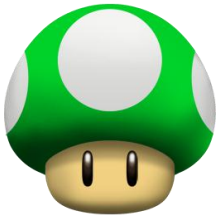
Hobbies2 = [esqui,comida]

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

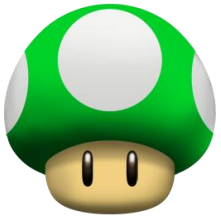
- Em geral, é comum tratar a cauda como um objeto simples. Por exemplo, L = [a,b,c] pode ser escrito como:

  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:

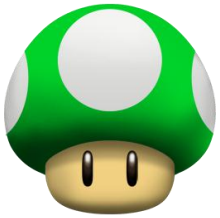
  L = [a | Cauda]



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□



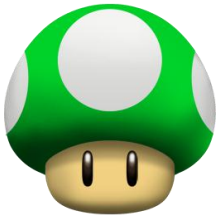
Operações em Listas – Busca

- 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).



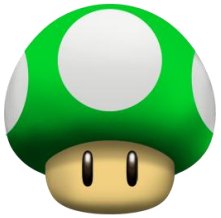
Operações em Listas – Busca

- 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
```



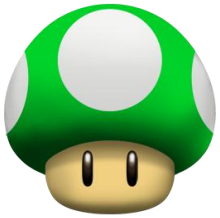
Operações em Listas – Busca

?- 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:

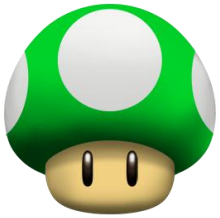
```
ultimo(Elemento, [Elemento]).
```

- 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).
```

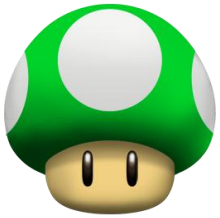
- Programa completo:

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



Exemplo: Macaco e as Bananas

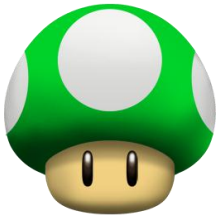
```
move(
        estado(no_centro, acima_caixa, no_centro, não_tem),
        pegar_banana,
        estado(no_centro,acima_caixa,no_centro,tem)
).
move(
        estado(P,no_chão,P,Banana),
        subir,
        estado(P,acima_caixa,P,Banana)
).
move(
        estado(P1,no_chão,P1,Banana),
        empurrar(P1,P2),
        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

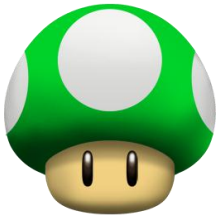
- O predicado **assert** é utilizado pelo Prolog para adicionar novas sentenças na base de conhecimento.

- **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.

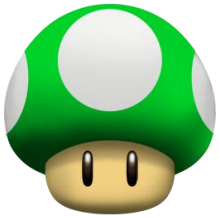


Removendo Fatos da Base de Conhecimento

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

- 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 diversos 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/